การออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

CIRCUIT DESIGN AND MODULE BOARD DEVELOPMENT FOR MICROCONTROLLER PIC 16F876 LABORATORY SETS

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

SURAPONG SIRIPONGDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

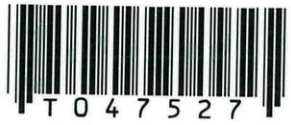
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-533-2

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

CIRCUIT DESIGN AND MODULE BOARD DEVELOPMENT FOR MICROCONTROLLER PIC 16F876 LABORATORY SETS



สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

SURAPONG SIRIPONGDEE

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 47527
วัน, เดือน, ปี 19 ส.ค. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-533-2

CIRCUIT DESIGN AND MODULE BOARD DEVELOPMENT FOR MICROCONTROLLER PIC 16F876 LABORATORY SETS

SURAPONG SIRIPONGDEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION
ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2003

ISBN 974-324-533-2

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

CIRCUIT DESIGN AND MODULE BOARD DEVELOPMENT FOR MICROCONTROLLER PIC 16F876 LABORATORY SETS

ชื่อนักศึกษา นายสุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

รหัสประจำตัว 41064607

ปริญญา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สุรสิทธิ์	ราตรี	
อาจารย์พีระวุฒิ	สุวรรณจันทร์	
ผศ.วิสุทธิ์	อธิพรธรรม	
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	
ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 เมษายน 2546 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสมาคมศิษย์เก่าบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 28 **เดือน** เมษายน **พ.ศ.** 2546

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876
นักศึกษา	นายสุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
รหัสประจำตัว	41064607
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์ เพื่อออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 พร้อมทั้งหาคุณภาพ จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการศึกษา จำนวน 5 คน และผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านวิศวกรรม จำนวน 5 คน โดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย การออกแบบวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้คือ กำหนดหัวข้อใบงานการทดลอง ออกแบบวงจรและสร้างชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 (เครื่องต้นแบบ) สร้างใบงานการทดลอง แบบทดสอบ และแบบประเมินชุดปฏิบัติการ ซึ่งแบ่งออกเป็น 13 โมดูล 14 ใบงาน ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานปฏิบัติการ และแบบทดสอบแล้วนำเสนอต่อกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา และกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม เพื่อประเมินหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ทั้งทางด้านการศึกษาและด้านวิศวกรรม

ผลการวิจัยพบว่า วงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านการศึกษาในเกณฑ์ดีโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.60 และมีคุณภาพทางด้านวิศวกรรมในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.58 ซึ่งคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้นี้ เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

Thesis Title	Circuit Design and Module Board Development for Microcontroller PIC 16F876 Laboratory Sets
Student	Mr. Surapong Siripongdee
Student ID.	41064607
Degree	Master of Science In Industrail Education
Programme	Electrical Communications Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Dr. Surasit Ratree
Thesistor Co-Advisor	Mr. Peerawut Suwanjan

ABSTRACT

The purposes of this research were to design and develop circuits and module boards of the Microcontroller PIC 16F876 laboratory sets. The sets were evaluted by the experts to find their quality. Simple random sampling was used to choose ten experts including five educators and five engineers for evaluating the laboratory sets. Four steps of dgsigning and developing the sets included (1) determining the topic of worksheets, (2) designing the sets, (3) developing the sets, and (4) developing the worksheets, testing questions, and evaluaion forms. The sets consisted of 13 modules and 14 worksheets.

The results of evaluation showed that the quality of the Microcontroller PIC 16F876 Laboratory Sets were in the high level. The mean score from five educators was 4.49 with a standard deviation of 0.60. The mean score from five engineers was 4.52 with a standard deviation of 0.58. The quality of the sets met the research assumption.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์จาก ดร.สุรสิทธิ์ ราตรี อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางรวมทั้งแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ในการวิจัย ด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเพื่อแก้ไขเครื่องมือในการวิจัย รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาให้ผู้เรียนได้มีความรู้ ความเข้าใจในศาสตร์ด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร และสามารถนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์จนลุล่วง จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง ต่อบุคคลทุกท่านที่เกี่ยวข้องและไม่ได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ที่สละเวลาให้ความร่วมมือ ทำให้ได้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว ที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ ทั้งหลายทั้งปวงที่เกิดขึ้นจนสามารถสำเร็จการศึกษา

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 สมมติฐานของการวิจัย 2

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 2

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 การวิจัยเชิงทดลอง 7

2.2 ทฤษฎีการเรียนรู้ 7 เหตุการณ์ของ กาเย่ 8

2.3 หลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 10

2.4 การสร้างสื่อการเรียนการสอน ประเภทชุดปฏิบัติการ 11

2.5 วิธีการสร้างชุดปฏิบัติการ และใบงานการทดลอง 12

2.6 หลักการเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 12

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 31

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 31

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 32

3.3 วิธีดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล 39

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล 40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 41

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 42

4.1 ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา 42

4.2 ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม 48

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 55

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 55

5.2 สมมติฐานการวิจัย 55

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 55

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 56

5.5 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 56

5.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล 57

5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 57

5.8 สรุปผลการวิจัย 57

5.9 อภิปรายผลการวิจัย 58

5.10 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย 62

5.11 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป 63

บรรณานุกรม 64

ภาคผนวก 65

ภาคผนวก ก ใบงาน 66

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ 201

ภาคผนวก ค รูปโมดูลบอร์ด 224

ภาคผนวก ง คู่มือการใช้งานโมดูลบอร์ด 232

ภาคผนวก จ ตารางแสดงผลการประเมินคุณภาพ 248

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประวัติผู้เขียน 257

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ OPTION 20

2.2 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ INTCON 20

2.3 รายละเอียดของรีจิสเตอร์ EECON1 37

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านการศึกษา ใบงานที่ 1-7 43

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านการศึกษา ใบงานที่ 8-14 44

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านวิศวกรรม โมดูลบอร์ดที่ 1-7 49

4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านวิศวกรรม โมดูลบอร์ดที่ 8-13 50

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 15
2.2 การจัดขาต่อใช้งานของ PIC 16F876 16
2.3 แผนผังแสดงจังหวะการทำงานของ PIC 16F876 17
2.4 การทำงานแบบไปป์ไลน์ที่ใช้ใน PIC 16876 18
2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC 16F876 19
2.6 การถ่ายทอดข้อมูลภายในโปรแกรมเคาน์เตอร์ 21
2.7 แผนผังการทำงานของไทม์เมอร์เคาเตอร์ภายใน PIC 16F876 25
2.8 แผนผังลอจิกนัยสำคัญของตัวแปรที่ใช้ควบคุมการอินเตอร์รัพต์ 29
3.1 แผนผังขั้นตอนการสร้างชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 34
3.2 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพ ด้านเนื้อหา ใบงานและการเรียนรู้ 36
3.3 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพ ด้านการออกแบบวงจรและใช้งาน
โมดูลบอร์ด 38

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ได้มีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องกับงานทางอุตสาหกรรมและชีวิตประจำวันของผู้คนอย่างมากมาย โดยที่ไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลในโรงงาน ป้ายโฆษณา ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ การควบคุมการทำงานของเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า เช่น รีโมทคอนโทรล เครื่องคิดเลข เครื่องบรรจุภัณฑ์ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เป็นต้น ล้วนแต่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมด้วยกันทั้งสิ้น หากพิจารณากันจริงๆ แล้วเราจะพบว่าในกระบวนการการควบคุมหรือการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการควบคุมจะพบว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นส่วนหนึ่งที่เป็นหัวใจสำคัญของระบบ ยิ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้มีการทำงานในลักษณะ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ขึ้น และมีคำสั่งการใช้งานเพียง 33-35 คำสั่ง โดยในหนึ่งคำสั่งใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงพัลซ์เดียว ยกเว้นคำสั่งที่ใช้ในการกระโดดจะใช้สัญญาณนาฬิกาสองพัลซ์ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Peripheral Interface Controller: PIC ของบริษัทไมโครชิพ ซึ่งได้รับความนิยมในการนำไปใช้งานทางด้านการควบคุมอย่างมากมาย และถ้าจะกล่าวถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC นี้ ในประเทศไทยถือว่ายังใหม่สำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาการใช้งานเพื่อให้เกิดความเข้าใจ และทักษะรวมทั้งการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC นี้ไปใช้งาน

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 เหตุผลที่ผู้วิจัยสนใจเลือกพัฒนาชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัทไมโครชิพนั้น เป็นเพราะว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัทไมโครชิพในปัจจุบันมีราคาที่ถูกกว่าเบอร์อื่นๆ และมีความสามารถในการประยุกต์ใช้งานที่กว้างขวางมีจำนวนมากมายหลายเบอร์ในตระกูล PIC ที่ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน และยังเป็นไมโครคอนโทลเลอร์ที่เป็นแบบแฟรชสามารถทำการโปรแกรมใหม่ได้ถึงแสนครั้งซึ่งเหมาะสำหรับนักวิจัยที่จะทำการพัฒนาโปรแกรม และแบบ OTP (One Time Programming) ที่เหมาะสำหรับงานโปรแกรมที่พัฒนาเสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เพราะมีราคาที่ถูกกว่าแบบแฟรชมาก และสาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่งนั้นก็คือ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 นั้นในประเทศไทยยังไม่มีบริษัทหรือหน่วยงานที่ได้ทำการพัฒนาชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ออกมาเผยแพร่หรือจัดจำหน่าย

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงคิดสร้าง ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยมุ่งหวังให้ผู้ที่มีความสนใจที่ต้องการจะเรียนรู้และศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ให้มีความเข้าใจถึงสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 การใช้งานชุดคำสั่ง การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก และช่วยเพิ่มทักษะให้กับบุคคลที่ได้ทำการทดลองใช้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 และยังสามารถใช้เป็นต้นแบบ ในการพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนหรือเพื่อนำไปใช้ในงานการควบคุมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบวงจร และสร้างโมดูลบอร์ด ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

2. เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ความเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีขึ้นไป

1.4 กรอบแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การสร้างชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนการออกแบบชุดปฏิบัติการ ที่ดัดแปลงมาจากกระบวนการเรียนการสอนของกาเย่ (Gagne′) ซึ่งมีขบวนการ 9 เหตุการณ์ (ถนอมพร (ตันพิพัฒน์) เลาหจรัสแสง. 2541 : 41-43) ผู้วิจัยนำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างชุดปฏิบัติการ จำนวน 7 เหตุการณ์ คือ

1. เร้าความสนใจ (Gain Attention) เพื่อกระตุ้น และจูงใจผู้เรียน

2. การบอกวัตถุประสงค์ (Specify Objective) ในการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการให้ผู้เรียนได้ทราบล่วงหน้า

3. ชี้แนวทางการเรียนรู้ (Guide Learning) เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ และประสบการณ์เดิมรวมกันเป็นความรู้ใหม่

4. กระตุ้นการตอบสนอง (Elicit Response) เพื่อให้ผู้เรียน ได้ร่วมกระทำกิจกรรมขั้นตอนต่างๆ

5. ให้ข้อมูลย้อนกลับ (Provide Feedback) เป็นการเร้าความสนใจแก่ผู้เรียน

6. การทดสอบความรู้ (Assess Performance) เป็นการประเมินการเรียนของผู้เรียน

7. การจำและนำไปใช้งาน (Promote Retention and Transfer) เป็นการสรุปเฉพาะประเด็นสำคัญ เพื่อให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวน และสามารถนำความรู้ใหม่ไปใช้ได้

และผู้วิจัยยังได้ใช้หลักในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (บัญชา ธนบุญสมบัติ. 2543 : 2-6) ซึ่งมี 8 หัวข้อ ผู้วิจัยนำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างชุดปฏิบัติการ จำนวน 4 หัวข้อ คือ

1. การกำหนดความคิดหลัก และหน้าที่ในการใช้งานของผลิตภัณฑ์
2. การวางแผนและจัดระยะเวลาสำหรับกิจกรรมการผลิต
3. การเตรียมต้นแบบและทดสอบผลิตภัณฑ์
4. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์และพัฒนาการผลิต

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้ และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเป็นอาจารย์ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีประสบการณ์ และมีความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์

กลุ่มตัวอย่าง

1. กลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาจำนวน 5 คน เป็นผู้ที่มีความรู้ และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเป็นอาจารย์ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาโท ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เพื่อทำการประเมินคุณภาพทางด้านการศึกษาของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

2. กลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมจำนวน 5 คน เป็นผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีประสบการณ์ และมีความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรี ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เพื่อทำการประเมินคุณภาพทางด้านวิศวกรรมของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

1.5.2 โมดูลบอร์ด ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ประกอบด้วยโมดูลบอร์ดต่างๆ ดังนี้

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด
3. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุต/เอาต์พุตพื้นฐาน
4. โมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีดอตเมตริกซ์
5. โมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน
6. โมดูลบอร์ดดิพสวิตช์ และเมตริกซ์สวิตช์
7. โมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว
8. โมดูลบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EEPROM / SPEAKER
9. โมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล
10. โมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม
11. โมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์ และสเตปปิ้งมอเตอร์
12. โมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์
13. โมดูลบอร์ดทดลองวงจร

1.5.3 ใบงาน ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์PIC 16F876 ประกอบด้วยใบงานต่างๆ ดังนี้

1. การใช้งานพอร์ตของ PIC 16F876
2. การทำงานของ PIC 16F876 กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC และแบบคริสตอล (Crystal)
3. การอินเตอร์รัพต์ PIC 16F876
4. การใช้งานไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC 16F876 (Timer/Counter)
5. การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)
6. การใช้งาน PIC 16F876 ขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน
7. การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4x4
8. การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
9. การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับวงจรมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM)
10. การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับสเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)
11. การใช้งาน PIC 16F876 แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

12. การใช้งาน PIC 16F876 แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก
13. การใช้งาน PIC 16F876 เชื่อมต่อกับโซลิดสเตทรีเลย์ (Solid State Relay)
14. การสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232

1.5.4 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ คือ คุณภาพของชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ทางด้านการศึกษา และทางด้านวิศวกรรม

1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย จึงกำหนดความหมายของคำต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้คือ

1. ชุดปฏิบัติการ หมายถึง ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ประกอบด้วยโมดูลบอร์ดจำนวน 13 บอร์ด ใบงานการทดลองและแบบทดสอบท้ายใบงาน

2. ใบงานการทดลอง หมายถึง เอกสารที่ใช้อธิบายรายละเอียดและขั้นตอนการทดลองของชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยให้บันทึกค่าการทดลองและสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลองชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

3. กลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา หมายถึง ผู้ที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์และเป็นอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาโท

4. กลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม หมายถึง ผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหาและการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีประสบการณ์และมีความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรี

5. โมดูลบอร์ด หมายถึง ชุดทดลองที่ประกอบจาก แผ่นวงจรพิมพ์ สายไฟ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์เชื่อมต่อ สายสัญญาณ หัวต่ออุปกรณ์ ทำหน้าที่ตามวงจรที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบไว้ในแต่ละโมดูลบอร์ด

6. คุณภาพของชุดปฏิบัติการ หมายถึง ความสามารถของชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้น ซึ่งวัดได้จากแบบประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการประเมินชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

7. คุณภาพด้านการศึกษา หมายถึงความสามารถของ ชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้น ซึ่งวัดได้จากแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 (ด้านเนื้อหาใบงานและการเรียนรู้ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876) โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา

8. คุณภาพด้านวิศวกรรม หมายถึงความสามารถของ ชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้น ซึ่งวัดได้จากแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 (ด้านเนื้อหาใบงานและการเรียนรู้ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876) โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่องการออกแบบวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 นี้เป็นวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยที่ผู้วิจัยมุ่งเน้นให้บุคคลที่มีความสนใจที่ต้องการเรียนรู้การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เพราะทำให้ได้รับประสบการณ์ตรง โดยได้ศึกษา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การวิจัยเชิงทดลอง

2.2 ทฤษฎีการเรียนรู้ 7 เหตุการณ์ของ กาเย่

2.3 หลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2.4 การสร้างสื่อการเรียนการสอน ประเภทชุดปฏิบัติการ

2.5 วิธีการสร้างชุดปฏิบัติการ และใบงานการทดลอง

2.6 หลักการเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิจัยเชิงทดลอง

การวิจัยเชิงทดลอง เป็นวิธีการแสวงหาความรู้อย่างมีระบบ และมีเหตุผล การทดลองเป็นวิธีการทดสอบสมมติฐานอย่างหนึ่ง คือเมื่อผู้วิจัยมีปัญหา ที่จะวิจัยแล้ว ก็ตั้งสมมติฐาน ซึ่งสมมติฐานนี้อาจจะถูกหรือผิดก็ได้ การที่สมมติจะได้รับการยืนยัน หรือไม่ได้รับการยืนยันจากข้อมูล ขึ้นอยู่กับการควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ว่ามีความถูกต้องเพียงใด จุดมุ่งหมายของการวิจัยเชิงทดลอง ก็เพื่อพยากรณ์เหตุการณ์ที่ได้ผลจาการทดลอง และหาผลสรุปที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ (วีรพันธ์ ติยันเสน. 2538 : 45)

วิธีดำเนินการวิจัยเชิงทดลอง ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. การศึกษางานวิจัย หนังสือ บทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่จะทำการวิจัย
2. กำหนดจุดมุ่งหมาย และนิยามปัญหา ที่จำเป็นทำให้ชัดเจน
3. ตั้งสมมติฐาน นิยามคำศัพท์เฉพาะ และตัวแปรให้ชัดเจน
4. สร้างแบบแผนการทดลอง
5. ดำเนินการทดลอง และต้องควบคุมสิ่งๆ ให้คงที่
6. จำกัดลักษณะการกระทำที่อาจจะทำให้ได้ข้อมูลที่ผิดและที่มีอิทธิพลต่อการทดลอง

2.2 ทฤษฎีการเรียนรู้ 7 เหตุการณ์ของ กาเย่

แนวความคิดจากทฤษฎีการเรียนรู้ 7 เหตุการณ์ของ กาเย่ (ถนอมพร (ตันพิพัฒน์) เลาหจรัสแสง. 2541) ที่กล่าวถึงเทคนิคการออกแบบชุดปฏิบัติการเพื่อใช้ในการเรียนการสอนไว้ดังนี้

1. การเร้าความสนใจ

ขั้นตอนแรกของการสอนก็คือ การดึงดูดความสนใจจากผู้เรียน ทั้งนี้เพื่อเป็นการกระตุ้นและจูงใจให้ผู้เรียนมีความต้องการที่จะเรียน ผู้เรียนที่มีแรงจูงใจในการเรียนสูงย่อมจะเรียนได้ดีกว่าผู้ที่มีแรงจูงใจน้อยหรือไม่มีแรงจูงใจเลย ตามหลักจิตวิทยาแล้วการจูงใจถือเป็นกระบวนการที่นำไปสู่พฤติกรรมที่มีเป้าหมายและเป้าหมายในที่สุด ดังนั้นการออกแบบใบงานของชุดปฏิบัติการจึงต้องมีการกระตุ้นและจูงใจผู้เรียนให้มีความสนใจและมองเห็นถึงประโยชน์ของการเรียน

2. การบอกวัตถุประสงค์

การบอกวัตถุประสงค์แก่ผู้เรียน ทั้งนี้เพื่อเป็นการให้ผู้เรียนได้ทราบถึงเป้าหมายในการเรียนโดยรวม หรือสิ่งต่างๆ ที่ผู้เรียนสามารถทำได้หลังจากที่เรียนจบบทเรียน การบอกวัตถุประสงค์นี้อาจจะอยู่ในรูปของวัตถุประสงค์กว้างๆ จนถึงวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม จากหลักฐานทางการวิจัย พบว่าการบอกวัตถุประสงค์แก่ผู้เรียนเป็นสิ่งสำคัญซึ่งช่วยให้ผู้เรียนทำความเข้าใจเนื้อหาได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ตามทฤษฎี ARCS ของเคลเลอร์และซูซูกิ แล้วการที่ผู้เรียนได้ทราบถึงเป้าหมายของการเรียนของตนยังนับว่าเป็นการสร้างแรงจูงใจในการเรียน เนื่องจากผู้เรียนตระหนักในเป้าหมายของตน จึงเกิดความพยายามมากขึ้นในการที่จะไปให้ถึงเป้าหมายนั่นเอง

3. ชี้แนวทางการเรียนรู้

ในการเรียนการสอนในชั้นเรียนปกตินั้น บ่อยครั้งที่เราจะสังเกตว่า ครูผู้สอนจะไม่บอกคำตอบหรือนำเสนอแนวคิดหรือเนื้อหาโดยตรงแก่ผู้เรียน แต่ในทางตรงกันข้ามครูผู้สอนจะใช้การสอนแบบค้นพบหรือการสอนแบบอุปมาน ตัวอย่างเช่น การยกตัวอย่างหรือตั้งคำถามชี้แนะกว้างๆ และแคบลงเรื่อยๆ เพื่อให้ผู้เรียนพยายามคิดวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบหรือค้นพบแนวคิดหรือเนื้อหาใหม่นั้นได้ด้วยตนเองนั้น การสอนแบบค้นพบและการสอนแบบอุปมานนี้ถือว่าเป็นการชี้แนวทางการเรียนรู้ อย่างไรก็ดีการที่ครูผู้สอนจะชี้แนวทางการเรียนรู้แก่ผู้เรียนมากน้อยเพียงใดนั้นก็แตกต่างกันไปตามลักษณะของเนื้อหาและความสามารถทางการเรียนของผู้เรียน หากเนื้อหาเป็นในลักษณะที่ไม่ต้องการการค้นพบ เช่น การเรียนคำศัพท์ใหม่ๆ การชี้แนวทางอาจมีความจำเป็นน้อยหรือไม่มีเลยและผู้เรียนที่มีความสามารถทางการเรียนสูงย่อมที่จะต้องการการชี้แนวทางการเรียนรู้น้อยกว่าผู้เรียนที่มีความสามารถทางการเรียนต่ำ เป็นต้น นอกจากนี้ลักษณะของผู้เรียนยังเป็นตัวกำหนดรูปแบบของการชี้แนวทางการเรียนรู้ของผู้เรียนได้อีกด้วย กล่าวคือ หากผู้เรียนมีประสิทธิภาพทางการอ่านต่ำ การใช้ภาพและเสียงในการชี้แนวทางถือว่าเป็นทางเลือกของการชี้แนวทางการเรียนรู้ที่เหมาะสมกว่าการใช้ข้อความเพียงอย่างเดียว

4. กระตุ้นการตอบสนอง

เป็นการให้ผู้สอนมีโอกาสทดสอบว่าผู้เรียนเข้าในในสิ่งที่ตนกำลังสอนอยู่หรือไม่ และผู้เรียนก็จะมีโอกาสได้ทดสอบความเข้าใจของตนในเนื้อหาที่กำลังศึกษาอยู่ ผู้ออกแบบจึงควรที่จะจัดให้มีกิจกรรมที่สร้างสรรค์ต่างๆ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับเนื้อหาเพื่อให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองจากผู้เรียน

5. ให้ข้อมูลย้อนกลับ

การให้ข้อมูลย้อนกลับถือว่าเป็นการเสริมแรงอย่างหนึ่งซึ่งทำให้เกิดการเรียนรู้ในตัวผู้เรียน การให้ผลย้อนกลับนอกจากจะทำให้ผู้เรียนทราบว่าสิ่งที่ตนเองเข้าใจนั้นถูกต้องมากน้อยเพียงใดแล้ว ยังทำให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนอีกด้วย สามารถแบ่งผลป้อนกลับตามลักษณะการปรากฏ (Appearance) ได้ 4 แบบคือ

1) แบบไม่เคลื่อนไหว (Passive Feedback) หมายถึง การเสริมแรงด้วยการแสดงคำหรือข้อความว่า ถูกต้อง ผิด ตอบอีกครั้ง หรือ คำเฉลย

2) แบบเคลื่อนไหว (Active Feedback) หมายถึง การเสริมแรงด้วยการแสดงภาพหรือกราฟิก เช่น ภาพหน้ายิ้ม หน้าเสียใจ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะออกแบบให้มีลักษณะเคลื่อนไหวได้ นอกจากนั้นยังครอบคลุมถึงการใช้ภาพอธิบายคำตอบของผู้เรียน ซึ่งในบางครั้งการใช้ข้อความอธิบายอาจไม่ชัดเจนพอ

3) แบบโต้ตอบ (Interactive Feedback) หมายถึง การเสริมแรงด้วยการให้ผู้เรียนได้มีกิจกรรมเชิงโต้ตอบกับบทเรียนซึ่งกิจกรรมนั้นๆ ไม่ใช่เนื้อหาโดยตรง เช่น การเล่นเกมที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาเป็นต้น

4) แบบทำเครื่องหมาย (Markup Feedback) หมายถึง การทำเครื่องหมายบนคำตอบของผู้เรียนเมื่อคำตอบของผู้เรียนถูกแค่เพียงบางส่วน ซึ่งเครื่องหมายมักจะอยู่ในรูปของการขีดเส้นใต้ การใช้สีที่แตกต่าง การทำเครื่องหมายนี้จำกัดเฉพาะข้อความประเภทเติมคำ

หรืออาจแบ่งตามธรรมชาติของเนื้อหา (Content) เป็น 2 ลักษณะคือ

1) ผลป้อนกลับพร้อมคำอธิบาย (Constructive Feedback) หมายถึง ผลป้อนกลับซึ่งช่วยให้คำอธิบายแก่ผู้เรียนว่าทำถูกหรือผิด อย่างไร เพราะอะไร ซึ่งข้อมูลอาจอยู่ในลักษณะการชี้ข้อผิดพลาดของคำตอบผู้เรียน หรืออาจเป็นการบอกใบ้ให้แก่ผู้เรียนในการได้มาซึ่งคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งผลในลักษณะนี้นอกจากจะเป็นการเสริมแรงแล้วยังเป็นการให้ข้อมูลเพิ่มเติมแก่ผู้เรียนในการพยายามคิดหาหรือสร้าง (construct) คำตอบที่ถูกต้องในการพยามยามครั้งต่อไปอีกด้วย

2) ผลป้อนกลับไร้คำอธิบาย (non-Construct Feedback) หมายถึง ผลป้อนกลับซึ่งไม่ได้นำเสนอข้อมูลเพิ่มเติมอะไรแก่ผู้เรียนนอกจากข้อมูลว่าคำตอบที่ผู้เรียนเลือกนั้นถูกต้องหรือไม่ถูกต้อง เท่านั้น

6. การทดสอบความรู้

เป็นการประเมินว่าผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้ตามที่ได้ตั้งเป้าหมายหรือไม่อย่างไร การทดสอบนั้นอาจจะเป็นการทดสอบหลังจากผู้เรียนเรียนจบทั้งบทแล้วก็ได้ โดยการทดสอบความรู้นั้นนอกจากจะเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประเมินตนเองแล้ว ผู้สอนก็ยังสามารถนำประโยชน์ของการทดสอบความรู้ไปใช้ในการประเมินว่าผู้เรียนนั้นได้รับความรู้และความเข้าใจเพียงพอที่จะผ่านไปศึกษาบทเรียนต่อไปหรือไม่ ดังนั้นการออกแบบแบบทดสอบความรู้ควรมีความเชื่อถือได้ (Valid)

7. การจำและการนำไปใช้งาน

สิ่งสำคัญที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคงทนในการเรียนรู้ข้อมูลใดนั้น คือการทำให้เกิดบริบทที่มีความหมายต่อผู้เรียน (Meaningful Context) ซึ่งหมายถึงการทำให้ผู้เรียนตระหนักว่าข้อมูลความรู้ใหม่ที่ได้เรียนรู้ไปนั้น มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลความรู้เดิม หรือประสบการณ์ที่ผู้เรียนมีความคุ้นเคยอย่างไร สำหรับการถ่ายโยงการเรียนรู้หรือการนำไปใช้นั้น ผู้สอนจะต้องจัดหากิจกรรมใหม่ๆ และหลากหลายไว้ให้สำหรับผู้เรียน โดยกิจกรรมจะต้องเป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้ที่เพิ่งเรียนรู้มา

ดังนั้นขั้นตอนนี้ ผู้ออกแบบจึงควรที่จะเชื่อมโยงข้อมูลความรู้ใหม่กับความรู้เดิมของผู้เรียน รวมทั้งการยกตัวอย่างสถานการณ์หรือบริบทอื่นๆ ที่แตกต่างไปจากตัวอย่างที่ใช้ในบทเรียนด้วย

2.3 หลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

หลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งมี 8 หัวข้อ ผู้วิจัยนำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างชุดปฏิบัติการ จำนวน 4 หัวข้อ (บัญชา ธนบุญสมบัติ. 2543:2-6) คือ

1. การกำหนดความคิดหลัก และหน้าที่ในการใช้งานของผลิตภัณฑ์

เป็นการกำหนดกรอบความคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มีความทันสมัย มีความสามารถในเชิงนวัตกรรมสูง มีความเหมาะสมกับข้อกำหนดและมีการเลือกใช้วัสดุและกรรมวิธีการผลิต โดยคำนึงถึงสมรรถนะการใช้งานที่เหมาะสม

2. การวางแผนระยะเวลาสำหรับกิจกรรมการผลิต

ในขั้นตอนนี้เป็นการวางแผนและประมาณระยะเวลาดำเนินการสำหรับการผลิต การวางแผนคือการระบุกิจกรรมหลักที่สำคัญและจัดลำดับเวลาในการำเนินกิจกรรมเหล่านั้น

3. การเตรียมต้นแบบและทดสอบผลิตภัณฑ์

เป็นการทำต้นแบบ การผลิตนำร่องและการทดลองผลิตภัณฑ์ใหม่ ในการทดสอบทางเทคนิคต่างๆ ขั้นตอนนี้ยังรวมไปถึงการออกแบบ การจัดสร้างเครื่องมือและผลิตต้นแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการผลิตภัณฑ์

4. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์และพัฒนาการผลิต

เป็นการปรับปรุงสมรรถนะการใช้งาน มีการเพิ่มอุปกรณ์อำนวยความสะดวกหรืออุปกรณ์ด้านความปลอดภัยให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.4 การสร้างสื่อการเรียนการสอน ประเภทชุดปฏิบัติการ

แนวทางในการปรับปรุงขบวนการเรียนการสอน สาขาช่างอุตสาหกรรม คือ การมีสื่อการเรียนการสอน ที่สอดคล้องกับหลักสูตร และผู้สอนได้นำไปใช้อย่างถูกวิธี จะเป็นผลให้คุณภาพการสอนดีขึ้น ในการผลิตสื่อเพื่อการสอน โดยเฉพาะวิชาการทดลองปฏิบัติการ นอกจากจะพิจารณาถึงระบบ และวิธีสอนที่ต้องใช้แล้ว ยังมีหลักอีก 3 ประการ คือ (พุธทอง โพธิปัญญา. 2540 :15)

1. เทคนิคการผลิต

2. ความคิดสร้างสรรค์ในการผลิต

3. การออกแบบ ให้สอดคล้องกับขบวนการสอน จุดมุ่งหมายการสอน และลักษณะที่จะนำไปใช้

สำหรับแนวทางในการออกแบบสื่อการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพนั้น ประกอบด้วยขบวนการ 5 ขั้นตอน คือ

1. กำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา ด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ ที่ควบคู่กันไป คือ การศึกษาเชิงวิเคราะห์เนื้อหาวิชาการศึกษาเปรียบเทียบหลักสูตรการสำรวจโรงงาน และการสำรวจสถานศึกษา

2. การกำหนดเนื้อหา และวัตถุประสงค์จากขอบข่ายเนื้อหาที่ได้นำมาศึกษา เพื่อให้สามารถจำแนก เป็นส่วนต่างๆ เท่าที่จำเป็น กล่าวคือ ให้รู้ถึงจุดมุ่งหมาย และหน้าที่ของชุดปฏิบัติการว่าทำอย่างไรจึงสามารถทำงานได้ตามต้องการ และสามารถตอบสองจุดมุ่งหมายของเนื้อหาวิชาได้อย่างครบถ้วน

3. การออกแบบ และการสร้างชุดสื่อการเรียนการสอน วัตถุประสงค์ของชุดทดลองที่ผ่านการวิเคราะห์ และตรวจสอบแล้ว เป็นแนวทางในการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์การสอน หรือชุดทดลองที่ทำการออกแบบนี้ สามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์การสอนของครู และอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมของนักศึกษา ชุดปฏิบัติการจึงมีความสำคัญมาก ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา และความสามารถทำงานในด้านช่างอุตสาหกรรม เพื่อที่จะสามารถปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี การออกแบบและสร้างสื่อประเภทชุดทดลองนั้น จำเป็นต้องนำเอาหลักการด้านการออกแบบ ทางด้านวิศวกรรมเชิงปฏิบัติมาประยุกต์กับงานที่ออกแบบสร้าง

4. การทดลองใช้ชุดสื่อการเรียนการสอน จะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาโดยผู้วิจัยเพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่างๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการใช้งาน และการลอกเลียนแบบขึ้นมาทำใหม่

5. การปรับปรุงข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดสื่อการเรียนการสอน ให้มีประสิทธิภาพจนเป็นที่ยอมรับได้

2.5 วิธีการสร้างชุดปฏิบัติการ และใบงานการทดลอง

วิธีการสร้างชุดปฏิบัติการ และใบงานการทดลอง มีลำดับขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

1. ขั้นเตรียมเอกสาร และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. ขั้นเตรียมการหาบุคลากร ที่จะช่วยในการสร้างชุดปฏิบัติการ และใบงานการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญ หรือผู้ชำนาญการในสาขาวิชานั้น

3. ขั้นดำเนินการประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

3.1 เลือกเนื้อหาวิชา

3.2 กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

3.3 จัดลำดับเนื้อหา

3.4 วางแผนวิธีการสอนสื่อที่ใช้ กิจกรรมการเรียนและรูปแบบการประเมินผล

3.5 การสร้างชุดปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การสร้างชุดปฏิบัติการ เป็นตัวเครื่องที่จะนำไปทดลอง การสร้างโดยทั่วไป ใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อง่าย และต้องมีราคาถูกคุณภาพดี

2. การสร้างใบงานการทดลองจะต้องมีรายละเอียดทั้งทฤษฎีบรรยายประกอบรูป คำตอบ สรุป และแบบฝึกหัดท้ายการทดลอง

3.6 นำชุดปฏิบัติการ และใบงานการทดลองไปทดลองใช้

3.7 นำกลับมาปรับปรุงแก้ไข (ถ้ามี)

3.8 ผลิตชุดปฏิบัติการ และใบงานการทดลองที่สมบูรณ์

2.6 หลักการเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

ในการวิจัยเพื่อการสร้าง และหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ได้ศึกษาเนื้อหา หลักการเบื้องต้นไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. ความรู้เบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

PIC16F876 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC (Peripheral Interface Controller) ของบริษัทไมโครชิปเทคโนโลยี (Microchip Technology) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีด้วยกันหลายเบอร์ แต่ละเบอร์ก็มีความสามารถแตกต่างกันไป ภายใน PIC16F876 มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) แบบแฟลช (Flash) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียน และลบได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่จัดอยู่ในกลุ่มของไมโครโปรเซสเซอร์แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) คือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้จะมีชุดคำสั่งน้อยเพียง 33-35 คำสั่งพื้นฐานเท่านั้นและทุกคำสั่งสามารถทำงานให้เสร็จได้ด้วยการใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียว ยกเว้นคำสั่งที่ใช้ในการกระโดด (Jump) ทั้งยังทำงานในลักษณะไปป์ไลน์ (Pipe Line) เหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์สมัยใหม่ ความเร็วในการทำงานจึงสูงมากเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นๆ ที่ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเท่ากัน

2. คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F876

สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit : CPU) ส่วนของเพอริเฟอรัล (Peripheral) และคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ คุณสมบัติทางเทคนิคของหน่วยประมวลผลกลางภายใน PIC16F876 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ หน่วยประมวลผลกลางเป็นแบบ RISC คำสั่งมีขนาด 14 บิต (Bit)

(1) คำสั่งใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 1 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกายกเว้นชุดคำสั่งที่ใช้ในการกระโดดจะใช้เวลา 2 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา

(1.1) ประมวลผลข้อมูลขนาด 8 บิต

(1.2) มีสแต็ก (Stack) 8 ระดับ

(1.3) โหมดการอ้างแอดเดรส 3 โหมด คือ แบบโดยตรง แบบโดยอ้อม และแบบสัมพัทธ์

(1.4) มีหน่วยความจำข้อมูล เป็นแบบอีอีพรอม (EEPROM) สามารถลบ และเขียนได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า และเก็บข้อมูลได้นาน 40 ปี

(1.5) ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมซึ่งเป็นแบบแฟลชมี ขนาด 8 กิโลเวิร์ด (1 เวิร์ดของ PIC16F876 มีขนาด 14 บิต) หน่วยความจำอีอีพรอมภายใน 256 ไบต์ (Byte) หน่วยความจำแรม (RAM) 368 ไบต์ (Byte) ซึ่งใช้เป็นรีจีสเตอร์ (Register)

(2) คุณสมบัติทางเทคนิคของเพอริเฟอรัลใน PIC16F876

(2.1) มีขาอินพุต / เอาต์พุต (Input / Output) 22 ขา (สำหรับ PIC16F876) สามารถกำหนดให้เป็นขาอินพุตหรือขาเอาต์พุตได้อย่างอิสระ

(2.2) กระแสซิงก์ (Synchronous) สูงสุด 25 มิลลิแอมป์

(2.3) กระแสซอร์ส (Source) สูงสุด 25 มิลลิแอมป์

(2.4) มีเพาเวอร์ออนรีเซตในตัว (POR : Power On Reset)

(2.5) มีเพาเวอร์อัปไทม์เมอร์ในตัว (PWRT : Power Up Timer)

(2.6) มีออสซิลเลเตอร์ สตาร์ตอัปไทม์เมอร์ (OST : Oscillator Start Up Timer)

(2.7) มีวอตช์ด็อกไทม์เมอร์ (WDT : Watch Dog Timer) พร้อมกับวงจรออสซิลเลเตอร์ RC ภายใน เพื่อช่วยให้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความแน่นอนยิ่งขึ้น

(2.8) ป้องกันการคัดลอกข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม

(2.9) มีโหมดประหยัดพลังงานหรือโหมดสลีป (Sleep Mode)

(2.10) สามารถเลือกวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้กำหนดการทำงานได้

(3) การเขียนข้อมูลสู่หน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแบบอนุกรมผ่านขาใช้งานเพียง 2 ขาได้รับการพัฒนาภายใต้เทคโนโลยีซีมอสแฟลช (CMOS Flash Technology) และอีอีพรอมความเร็วสูง พลังงานต่ำ ย่านไฟเลี้ยง 2.0 - 6.0 โวลต์ ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 2 มิลลิแอมป์ ที่ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ สัญญาณนาฬิกาความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์ 15 ไมโครแอมป์ (uA) ที่ไฟเลี้ยง +3 โวลต์ สัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 32 กิโลเฮิรตซ์ (KHz) น้อยกว่า 1 ไมโครแอมป์ ขณะสแตนด์บาย (Stand By)

3. สถาปัตยกรรมของ PIC 16F876

John Ioine (2002 : 1-2) ได้ศึกษาถึงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC และบอกถึงรายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ได้รับการบรรจุหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ และหน่วยอินพุตเอาต์พุตไว้พร้อมทั้งยังมีไทม์เมอร์ และวอตช์ด็อกครบถ้วนสมบูรณ์

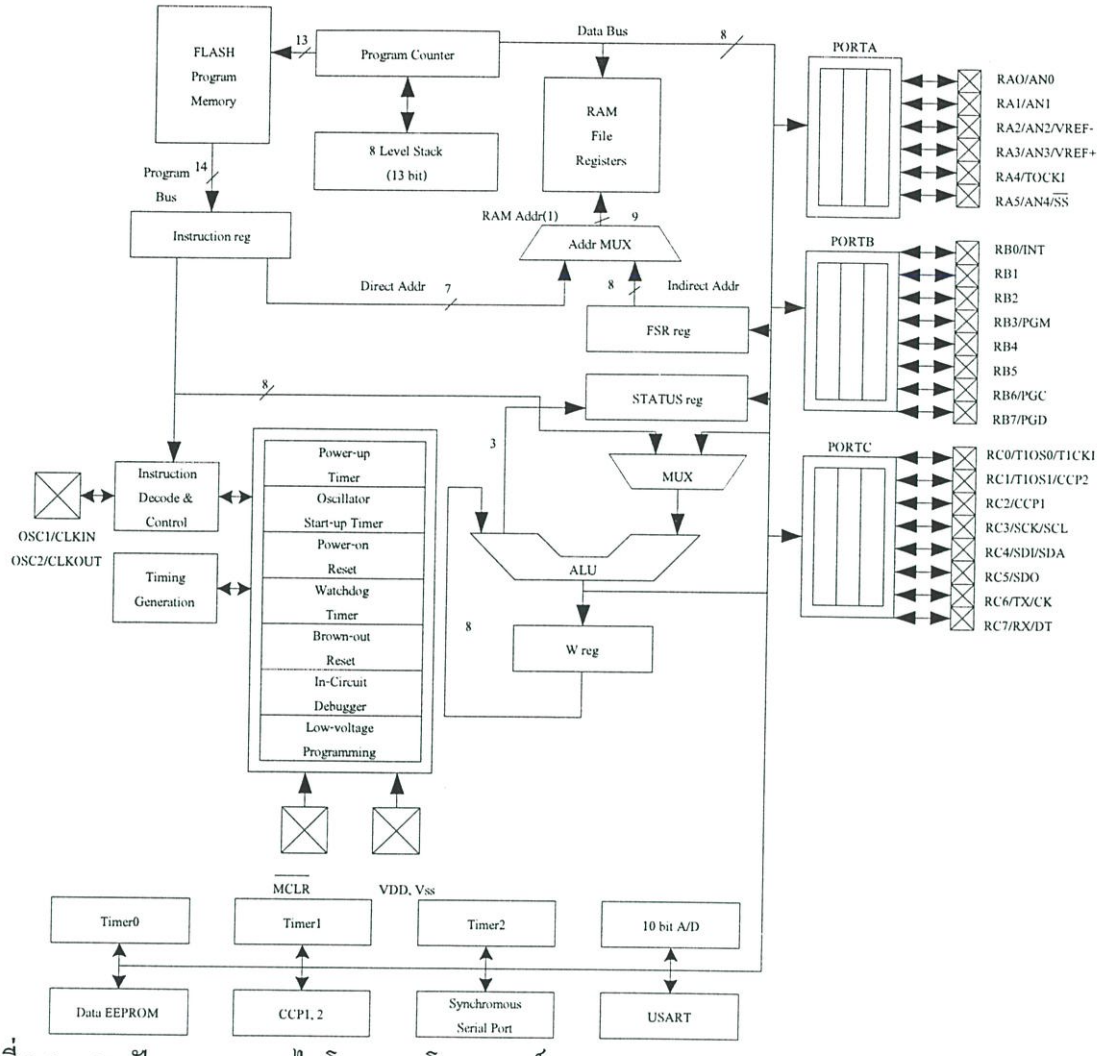
PIC16F876 มีการจัดสรรหน่วยความจำดังนี้

(1) หน่วยความจำโปรแกรม มีโครงสร้างเป็นหน่วยความจำแบบแฟลช ขนาด 8 กิโลเวิร์ด

(2) หน่วยความจำข้อมูลเป็นหน่วยความจำแบบอีอีพรอมขนาด 256 ไบต์

(3) หน่วยความจำแรมได้รับการกำหนดให้ทำงานเป็นรีจีสเตอร์ เพื่อทำการกำหนดแฟ้มข้อมูล หรือรีจีสเตอร์ไฟล์ (Register File) ขนาด 368 ไบต์

การเข้าถึงหน่วยความจำของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) นี้ เราสามารถทำได้ในลักษณะโดยตรง โดยอ้อม และแบบสัมพัทธ์ โดยมีรีจีสเตอร์ FSR (File Select Register) ทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามคำสั่งที่กำหนดให้ข้อมูลของชุดคำสั่งจะถูกนำไปเก็บไว้ในรีจีสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยัง



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

วงจรถอดรหัส เพื่อควบคุมไทม์เมอร์ทั้งหมดภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ และยังส่งไปควบคุมหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ด้วย

ใน PIC16F876 มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด8บิต 1 ตัว ขนาด16บิต 2 ตัว ปรีสเกลเลอร์ (Prescaler) ที่สามารถโปรแกรมได้ สามารถรับสัญญาณอินพุตทั้งจากภายนอก และภายใน

หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Logic Unit : ALU) มีขนาด 8 บิตในส่วนของพอร์ตอินพุตเอาต์พุตใน PIC16F876 มีด้วยกัน 3 พอร์ต (Port) คือ พอร์ต A พอร์ต B และพอร์ต C โดยที่พอร์ต A มี 6 บิตคือ RA0-RA5 ส่วนพอร์ต B มี 8 บิตคือ RB0-RB7 และพอร์ต C มี 8 บิต คือ RC0-RC7

4. การจัดขาของ PIC16F876

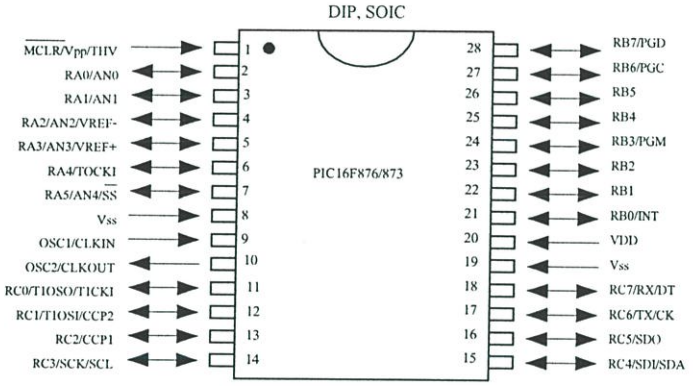
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 สามารถจัดขาต่อใช้งานได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

(1) กลุ่มขาสัญญาณนาฬิกา มี 2 ขา คือ OSC1 / CLKIN (ขา 9) และ OSC2 / CLKOUT (ขา 10)

(2) กลุ่มขาควบคุม มี 1 ขา คือ MCLR (ขา 1)

(3) กลุ่มขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต มี 22 ขา เป็นขาพอร์ต A 6 ขา ได้แก่ RA0-RA5 (ขา 2 ถึงขา 7) ขาพอร์ต B ได้แก่ขา RB0-RB7 (ขา 21 ถึงขา 28) และขาพอร์ต C ได้แก่ขา RC0-RC7 (ขา 11 ถึงขา 18)

(4) กลุ่มขาไฟเลี้ยง มี 3 ขา คือ ขา V_{SS} (ขา 8 และขา 19) หรือขาต่อกราวด์ และขา V_{DD} (ขา 20) หรือขาต่อไฟเลี้ยง ปกติใช้ +5 โวลต์



รูปที่ 2.2 การจัดขาต่อใช้งานของ PIC16F876

5. การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ PIC16F876

การป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ PIC16F876 ทำได้ 3 วิธีใหญ่ ๆ โดยใช้อุปกรณ์ 3 รูปแบบ คือ ตัวต้านทานร่วมกับตัวเก็บประจุ (RC Clock Circuit) เซรามิกเรโซเนเตอร์ (Ceramic Rasonater) และคริสตอล (Crystal)

(1) การป้อนสัญญาณนาฬิกา โดยใช้ตัวต้านทาน แล ตัวเก็บประจุ (RC Clock Circuit) การป้อนสัญญาณนาฬิกานี้ เหมาะสมสำหรับงานที่ไม่เข้มงวดเรื่องความแม่นยำ และเสถียรภาพของความถี่ของสัญญาณนาฬิกา เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด และใช้งบประมาณต่ำที่สุด

(2) การป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอล วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบนี้มีความเที่ยงตรงสูงมาก ส่งผลให้การคำนวณเกี่ยวกับการหน่วงเวลาในการเขียนโปรแกรมกระทำได้อย่างแม่นยำมากขึ้น สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 จะถูกหารลง 4 เท่า

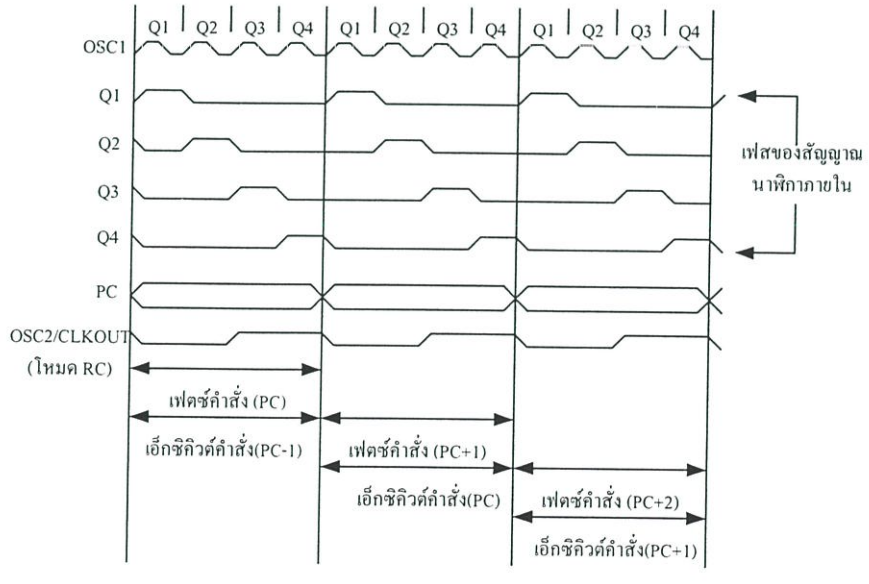
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(3) การป้อนสัญญาณนาฬิกา โดยใช้เซรามิกเรโซเนเตอร์ ในการป้อนสัญญาณนาฬิกาโดยใช้เซรามิกเรโซเนเตอร์นี้ใช้ เมื่อต้องการให้รูปร่างของสัญญาณนาฬิกามีคุณภาพและความเที่ยงตรงสูงๆ

6. จังหวะสัญญาณนาฬิกา และไซเคิลการทำงานของ PIC16F876

สัญญาณนาฬิกาอินพุตของ OSC1 (Oscilator1) จะถูกหารด้วย 4 แล้วแบ่งเป็น 4 ช่วง กำหนดเป็น ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q1 ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q2 ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q3 และช่วงสัญญาณนาฬิกา Q4 โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter) ภายในซีพียูจะเพิ่มค่าขึ้นทุกๆ ครั้งที่ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q1 เมื่อโปรแกรมเคาน์เตอร์เพิ่มค่าขึ้นคำสั่งจะถูกเฟตช์จากหน่วยความจำโปรแกรม จากนั้นซีพียูทำการแลตช์ (Latch) ข้อมูลคำสั่งนั้นไว้ในรีจีสเตอร์คำสั่ง ที่ช่วงสัญญาณนาฬิกา Q4 คำสั่งจะถูกถอดรหัส และเอ็กซิคิวต์ จนเสร็จสิ้นภายในช่วงสัญญาณนาฬิกา Q1-Q4 หรือภายใน 1 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา

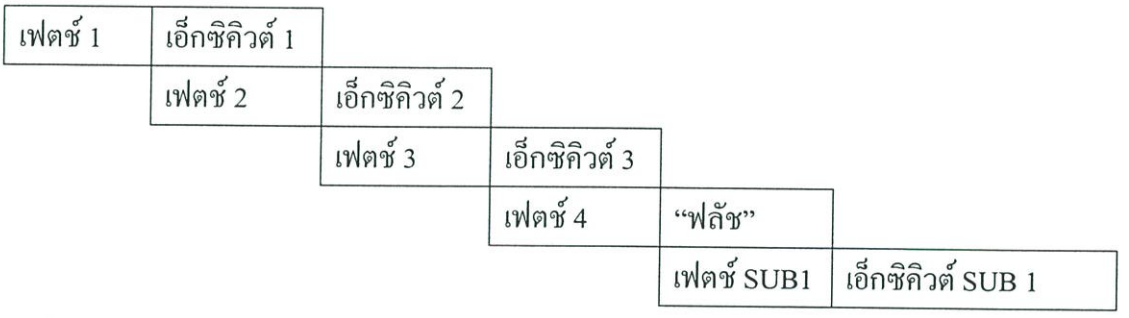
แผนผังการทำงานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจังหวะของสัญญาณนาฬิกากับการประมวลผลคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 พบว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 จะทำงานโดยใช้สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกต่อหนึ่งคำสั่ง แต่สัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ลูกจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ช่วงเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานของซีพียูให้มีความชัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงจังหวะการทำงานของ PIC16F876

47527

ไซเคิลการทำงาน (Instruction Cycle) ของ PIC16F876 แบ่งเป็น 2 ไซเคิล คือ การเฟตช์และการเอ็กซิคิวต์ ประกอบด้วย 4 คิวไซเคิล (Q-cycle : Quadrature Cycle) คือ Q1 Q2 Q3 และ Q4 การเฟตช์และเอ็กซิคิวต์คำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีลักษณะเป็นแบบไปป์ไลน์ (PipeLine : การทำงานที่เหลื่อมล้ำกันในแต่ละขั้นตอนการทำงานของคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้เร็วขึ้น) กล่าวคือ เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งหนึ่ง โดยที่คำสั่งนั้นมี 2 ขั้นตอน เมื่อทำงานไปแล้ว 1 ขั้นตอน คือขั้นตอนการเฟตช์คำสั่ง ซีพียูจะเริ่มเฟตช์คำสั่งต่อไปทันทีพร้อมๆ กับการเอ็กซิคิวต์คำสั่งก่อนหน้านี้



รูปที่ 2.4 การทำงานแบบไปป์ไลน์ที่ใช้ใน PIC16F876

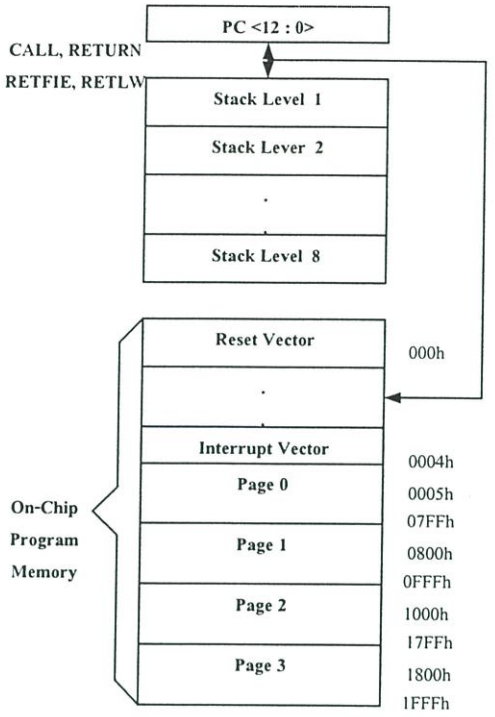
7. การจัดการหน่วยความจำของ PIC16F876

การจัดการหน่วยความจำของ PIC16F876 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูลและหน่วยความจำส่วนของ EEPROM

7.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F876 เป็นหน่วยความจำแบบแฟลช ซึ่งสามารถที่จะโปรแกรมลงบนหน่วยความจำนี้ได้ทั้งในโหมดโปรแกรม และในขณะทำงานปกติ

PIC16F876 มี โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC) ขนาด 13 บิต ที่สามารถอ้างตำแหน่งหน่วยความจำได้ 8K X 14 ตำแหน่ง โดยมีตำแหน่งรีเซตเวคเตอร์ (Reset Vector) อยู่ที่ตำแหน่ง 0000h และตำแหน่งอินเตอร์รัพต์เวคเตอร์ (Interrupt Vector) อยู่ที่ตำแหน่ง 0004h และมีความลึกของสแต็ก (Stack) 8 ระดับ



รูปที่ 2.5 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F876

7.2 หน่วยความจำข้อมูล

พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลได้รับการจัดสรรเป็น 2 ส่วน คือ พื้นที่ของรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register : SFR) และพื้นที่ของรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General Function Register : GPR) การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลทั้ง SFR และ GPR จะถูกแบ่งออกเป็น 4 แบงค์(Bank) ซึ่งเป็นที่อยู่ของรีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป และรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ เราสามารถเปลี่ยนแบงค์ ได้โดยการเลือกที่บิต RP0 และ RP1 แต่ละแบงค์มีถึง 128 ไบต์ และส่วนต้นๆ ของแต่ละแบงค์ จะเป็นที่อยู่ของรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ และส่วนถัดไปจะเป็นที่อยู่ของ รีจีสเตอร์ใช้งานทั่วไป ซึ่งถูกใช้เหมือนกับแรมทั่วไป การเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลสามารถทำได้ทั้งแบบโดยตรง (Direct) หรือแบบโดยอ้อม (Indirect) ผ่านทางรีจีสเตอร์เลือกแฟ้มข้อมูล (File Select Register : FSR)

7.3 รีจีสเตอร์ควบคุมของ PIC16F876

John B. Peatman (2002 : 59-61) ใน PIC16F876 มีรีจีสเตอร์ควบคุมที่มีบทบาทสำคัญอยู่ 6 ตัว คือ STATUS OPTION INTCON PCL PCLATH และ W

1. รีจีสเตอร์ STATUS

เป็นรีจีสเตอร์ที่ใช้แสดงสถานะทางคณิตศาสตร์ของหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ สถานะการทำงานของ PIC16F876 และใช้เป็นตัวกำหนดการเลือกแบงค์ของหน่วยความจำข้อมูล การเข้าถึงรีจีสเตอร์ STATUS เพื่ออ่าน และเขียนข้อมูลสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการเดียวกับการอ่าน และเขียนรีจีสเตอร์ตัวอื่นๆ

2. รีจีสเตอร์ OPTION

เป็นรีจีสเตอร์ที่ควบคุมการอินเตอร์รัพต์จากสัญญาณภายนอก

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจีสเตอร์ OPTION

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0	R :อ่านค่าได้ W : เขียนค่าได้ U : ไม่ใช้งาน "0" -n ค่าที่เกิดหลังเพาเวอร์ออนรีเซต
R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	
RBPU	INTEG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0	

3. รีจีสเตอร์ INTCON

เป็นรีจีสเตอร์ที่เก็บค่าบิตของการอีนาเบิลสัญญาณอินเตอร์รัพต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x0B มีบทบาทสำคัญมากในเรื่องการอินเตอร์รัพต์

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดของบิตต่างๆ ในรีจีสเตอร์ INTCON

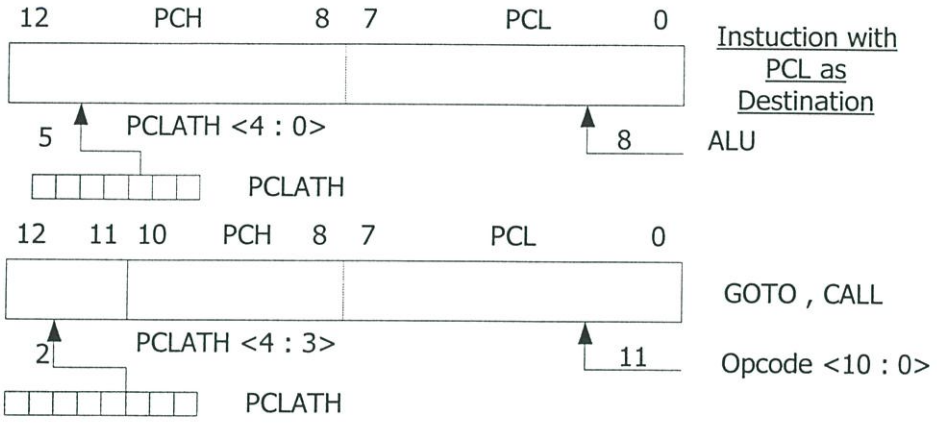
บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0	R :อ่านค่าได้ W : เขียนค่าได้ U : ไม่ใช้งาน "0" -n ค่าที่เกิดหลังเพาเวอร์ออนรีเซต
R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x	
GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	

4. รีจีสเตอร์โปรแกรมเคาน์เตอร์ PCL และ PCLATH

โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter : PC) เป็นรีจีสเตอร์ที่มีหน้าที่ชี้ตำแหน่งแอดเดรสต่อไปของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน

โปรแกรมเคาน์เตอร์หรือ PC ใน PIC16F876 มีขนาด 13 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ รีจีสเตอร์โปรแกรมเคาน์เตอร์ไบต์ต่ำ หรือ PCL (Program Counter Low Byte) ซึ่งในส่วนนี้มีขนาด 8 บิต สามารถอ่าน และเขียนค่าได้โดยตรง ในขณะที่อีกส่วนหนึ่งมีขนาด 5 บิต ไม่สามารถอ่านหรือ

เขียนข้อมูลได้โดยตรง ต้องอาศัยการเขียน และอ่านค่าผ่านรีจีสเตอร์ PCLATH โดยรีจีสเตอร์ PCLATH จะทำการเก็บค่าของ 5 บิตบนโปรแกรมเคาน์เตอร์ไว้ และถ่ายทอดลงสู่ 5 บิตบนของโปรแกรมเคาน์เตอร์ไบต์สูง (PCH) ก็ต่อเมื่อโปรแกรมเคาน์เตอร์มีการโหลดค่าใหม่เข้ามา ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อกระทำคำสั่ง CALL หรือ GOTO



รูปที่ 2.6 การถ่ายทอดข้อมูลภายในโปรแกรมเคาน์เตอร์

5. สแต็ก (Stack)

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ได้จัดสรรสแต็กหรือพื้นที่ในหน่วยความจำ เพื่อใช้ในการเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ชั่วคราวไว้ 8 ระดับ หากมีการพุชเป็นครั้งที่ 9 ซีพียูจะนำค่าของ PC ในครั้งที่ 9 นี้เก็บลงในสแต็กที่เก็บค่า PC ในครั้งที่ 1

6. รีจีสเตอร์ W

ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีรีจีสเตอร์ที่ใช้ในการทำงานหลัก คือ รีจีสเตอร์ W หากเปรียบเทียบกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่นๆ รีจีสเตอร์ W เทียบได้กับแอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator) เมื่อ PIC16F876 กระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ รีจีสเตอร์ W จะเป็นรีจีสเตอร์ที่ซีพียูติดต่อด้วยการโอนข้อมูล หรือการตรวจสอบข้อมูลจะกระทำที่รีจีสเตอร์ W

7. รีจีสเตอร์ไฟล์ (File Register)

เนื่องจาก PIC16F876 มีรีจีสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายตัว จึงมีการจัดรวบรวมรีจีสเตอร์ทั้งหมดที่ต้องใช้การเข้าถึงแบบโดยอ้อมไว้ในลักษณะแฟ้มข้อมูล รีจีสเตอร์ได้รับการนำมารวมไว้มีชื่อว่า รีจีสเตอร์ไฟล์ (Register File) มีขนาด 8 บิต และมีรีจีสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ที่ถูกกำหนดหน้าที่และตำแหน่งไว้แล้ว และอีก 68 ตัวจะได้รับการกำหนดให้ใช้งานอย่างอิสระ

8. ชุดคำสั่งของ PIC16F876 และการเข้าถึงรีจีสเตอร์

ชุดคำสั่งของ PIC16F876 และการเข้าถึงรีจีสเตอร์ประกอบด้วยกลุ่มต่างๆ ดังนี้

1. กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับไบต์กับรีจีสเตอร์ไฟล์

เป็นกลุ่มคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับรีจีสเตอร์ไฟล์โดยตรงหรือโดยอ้อม มีทั้งสิ้น 18 คำสั่ง

2. กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับบิตกับรีจีสเตอร์ไฟล์

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ต้องเกี่ยวข้อง หรือกระทำกับรีจีสเตอร์ไฟล์โดยตรง หรือโดยอ้อม ขนาดของข้อมูลที่ต้องประมวลผลอยู่ในระดับบิต มีทั้งสิ้น 4 คำสั่ง

3. กลุ่มคำสั่งจัดการกับค่าคงที่ และควบคุมการทำงาน

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ผสมกันระหว่างการประมวลผลกับค่าคงที่ คำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดไปโปรแกรมย่อยและออกจากโปรแกรมย่อย และคำสั่งกำหนดโหมดการทำงาน

9. การเข้าถึงรีจีสเตอร์และข้อมูลของ PIC16F876

Michael Predko , Myke Predko . (2000 : 80-83) ได้บอกถึงวิธีการเข้าถึงรีจีสเตอร์ และข้อมูลของ PIC16F876 ว่ามีลักษณะการเข้าถึงดังนี้ คือ

1. การเข้าถึงข้อมูลแบบทันทีทันใด (Immediate Addressing Mode)

การเข้าถึงข้อมูลแบบทันทีทันใดนี้จะเป็นการเข้าถึงค่าคงที่โดยตรง ด้วยการใช้ชุดคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่ร่วมกับรีจีสเตอร์ W หรือแอกคิวมูเลเตอร์ ตัวอย่างของคำสั่งที่แสดงให้เห็นถึงการเข้าถึงข้อมูลทันทีทันใดได้แก่ movlw k โดยที่ k คือค่าคงที่

2. การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยตรง (Direct Addressing Mode)

การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยตรงนี้ เป็นการเข้าถึงข้อมูลหรือรีจีสเตอร์ ด้วยการกำหนดแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึงอย่างเจาะจง หรือระบุผ่านชื่อของรีจีสเตอร์ก็ได้ เช่น

clrf Temp เป็นคำสั่งที่ต้องการเคลียร์ค่าของรีจีสเตอร์ตั้งชื่อว่า Temp

3. การเข้าถึงข้อมูลแบบโดยอ้อม (Indirect Addressing Mode)

การเข้าถึงแบบนี้จะใช้ใน กรณีต้องการติดต่อกับรีจีสเตอร์หลายๆ ตัว ในคราวเดียวกันไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 จะมีรีจีสเตอร์ FSR (File Select Register) และ รีจีสเตอร์ INDF ช่วยในการติดต่อแบบโดยอ้อม รีจีสเตอร์ FSR ทำหน้าที่เป็นตัวชี้แอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องการเข้าถึง แล้วทำการอ่านข้อมูลนั้นๆ จากรีจีสเตอร์ INDF หรืออาจกล่าวได้ว่าใช้รีจีสเตอร์ FSR เก็บค่าแอดเดรส และรีจีสเตอร์ INDF เก็บค่าของข้อมูล

4. การเข้าถึงค่าข้อมูลแบบสัมพัทธ์

การเข้าถึงค่าข้อมูลแบบสัมพัทธ์นี้จะประกอบด้วยการคำนวณค่าสัมพัทธ์ของระยะห่างระหว่างแอดเดรสที่เริ่มต้นทำงานกับแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึง โดยมีการใช้ค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ เข้ามาช่วยคำสั่งหนึ่งที่นำมาใช้ในการเข้าถึงข้อมูลสัมพัทธ์ คือ Retlw

กระบวนการจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าออฟเซต (Offset) ลงในรีจีสเตอร์ W แล้วนำไปรวมกับค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ก็จะได้ค่าของแอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องการเข้าถึง การเข้าถึงแบบนี้มีข้อจำกัดคือ ระยะห่างของแอดเดรสเริ่มต้นกับแอดเดรสที่ต้องการเข้าถึงต้องไม่เกิน 256 ตำแหน่ง

10. การใช้งาน Input / Output Port

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีพอร์ตสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก 3 พอร์ต คือ พอร์ต A มีขนาด 6 บิต และพอร์ต B กับ พอร์ต C มีขนาด 8 บิต ขาแต่ละของ PIC16F876 สามารถจ่ายกระแสออกได้สูงสุด 25 มิลลิแอมป์ และสามารถรับกระแสสูงสุดต่อขาได้ 20 มิลลิแอมป์ เมื่อใช้ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ แต่ถ้าจะนำไปขับ LED จะต้องจำกัดกระแสโดยการต่อค่าความต้านทานเข้าไป แต่ถ้าใช้ไฟเลี้ยง +3 โวลต์ ก็สามารถที่จะขับ LED ได้โดยตรง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

พอร์ต A เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง มีขนาด 6 บิต มีรีจีสเตอร์กำหนดทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ต A คือ TRISA เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล “1” ไปยังบิตที่ต้องการกำหนดให้เป็นอินพุต และถ้าหากต้องการใช้งานเป็นเอาต์พุตก็จะต้องเขียนข้อมูล “0” ไปยังบิตที่ต้องการให้เป็นเอาต์พุต

สำหรับขาของพอร์ต A บิตที่ 4 หรือ RA / TOCKI มีความแตกต่างจากขาอื่นๆ ตรงที่ว่าขานี้จะมีวงจรชมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) ต่อเข้าที่ขาอินพุต เพราะขานี้ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาภายนอกสำหรับขาไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ TMRO ภายใน

ขาของพอร์ต A ยังมัลติเพล็กซ์กับแอนะลอกอินพุต (Analog Input) และแอนะลอก V_{REF} อินพุต เมื่อต้องการใช้งานก็จะทำการกำหนดโดยเลือกเคลียร์ หรือเซต (Clearing / Setting) ที่บิตคอนโทรล (Control Bit) ในรีจีสเตอร์ ADCON1 (A/D Control Register 1) ขณะเพาเวอร์ออนรีเซตขาของพอร์ต A จะถูกกำหนดให้เป็นแอนะลอกอินพุต และกำหนด ลอจิกเป็น “0”

พอร์ต B เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง มีขนาด 8 บิต มีรีจีสเตอร์กำหนดทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ต B คือ TRISB การกำหนดทิศทางจะกำหนดเช่นเดียวกับ TRISA แต่ละขาของพอร์ต B สามารถเลือกให้พูลอัปโดยทำการเคลียร์บิต RBPU ในรีจีสเตอร์ OPTION และการพูลอัปจะถูกยกเลิกโดยอัตโนมัติเมื่อกำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุต และนอกจากนี้การพูลอัปจะถูกยกเลิกเมื่อเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต

ในส่วนของขาอีก 4 ขา คือ (RB4-RB7) ยังใช้เป็นขาเพื่อทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูล หรือระดับสัญญาณของพอร์ต B เพื่อกระตุ้นให้เกิดการอินเตอร์รัพต์ กล่าวคือ จะสามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์ได้เฉพาะขาที่เป็นอินพุต (ถ้าบิต RB4-RB7 บิตใดบิตหนึ่งเป็นเอาต์พุตจะไม่สามารถรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์ได้)

ขณะที่อยู่ในโหมดสลีปสามารถทำให้อุปกรณ์เกิดการอินตอร์รัพต์ได้โดยผู้ใช้ สู่การบริการอินเตอร์รัพต์ย่อยสามารถทำการเคลียร์อินเตอร์รัพต์ได้ดังนี้

1. อ่านหรือเขียนจากพอร์ต B อย่างใดอย่างหนึ่งจะทำให้หยุดการทำงาน
2. เคลียร์บิต RBIF

พอร์ต C เป็นพอร์ตแบบสองทิศทาง มีขนาด 8 บิต มีรีจีสเตอร์กำหนดทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ต C คือ TRISC พอร์ต C จะมัลติเพล็กซ์กับฟังก์ชันอุปกรณ์เสริมมากมาย และพอร์ต C นี้ยังมีบัฟเฟอร์ (Buffer) ทางอินพุตแบบชมิตทริกเกอร์ เมื่อทำการอีนาเบิล (Enable) ฟังก์ชันอุปกรณ์เสริม ควรระวังในการกำหนดค่าของบิต TRISC และในบางอุปกรณ์เสริมจะทำการโอเวอร์ไรด์ (Override) บิต TRIS เพื่อกำหนดให้ขานี้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต และควรจะหลีกเลี่ยงตำแหน่งปลายทาง ผู้ใช้ควรจะอ้างอิงถึงส่วนอุปกรณ์เสริมที่คล้ายคลึงสำหรับการตั้งค่าบิต TRIS ให้ถูกต้อง

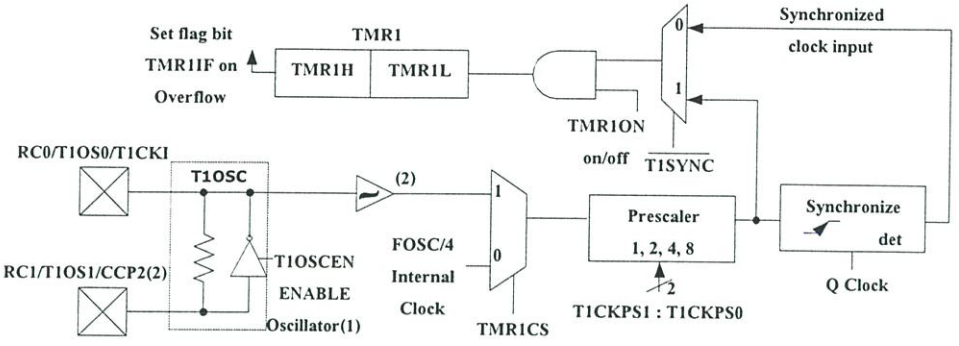
การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดทิศทางของพอร์ต เริ่มจากการเลือกแบงค์ของรีจีสเตอร์ไฟล์ไปที่แบงค์ 1 โดยการเซตบิต RP0 ในรีจีสเตอร์ STATUS จากนั้นเขียนค่า “0” หรือ “1” ซึ่งเป็นการกำหนดทิศทางว่าเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ไปยังรีจีสเตอร์ พอร์ต A พอร์ต B และ พอร์ต C ตามตำแหน่งบิตที่ต้องการกำหนดโดยแอดเดรสที่อ้างถึงจะตรงกับ 0x05, 0x06 และ 0x07 ตามลำดับ ซึ่งก็คือแอดเดรสของรีจีสเตอร์ TRISA, TRISB และ TRISC เนื่องจากไม่สามารถเข้าถึงรีจีสเตอร์ TRISA, TRISB และ TRISC ได้โดยตรง

หลังจากการกำหนดทิศทางของพอร์ตแล้ว ก็ต้องทำการเลือกแบงค์ของรีจีสเตอร์ไฟล์ให้กลับมายังแบงค์ 0 เพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลกับพอร์ตจริงๆ โดยผ่านทางรีจีสเตอร์ พอร์ต A พอร์ต B และ พอร์ต C วิธีการก็คือ การเคลียร์บิต RP0 ของรีจีสเตอร์ STATUS

11. ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F876

การเลือกโหมดไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ การกำหนดให้โมดูลไทม์เมอร์ 0 ทำงานในลักษณะเป็น ไทม์เมอร์ หรือตัวตั้งเวลากับเคาน์เตอร์ หรือวงจรนับ จะต้องทำการกำหนดบิต TOCS อันเป็นบิตที่ 5 ของรีจีสเตอร์ OPTION เมื่อกำหนดให้บิต TOCS เป็น “0 ” โมดูลไทม์เมอร์ 0 จะทำงานในโหมดไทม์เมอร์ ซึ่งรับสัญญาณนาฬิกาจากภายในของ PIC16F876 และหากกำหนดให้บิต TOCS เป็น “1”โมดูลไทม์เมอร์ 0 จะทำงานในโหมดเคาน์เตอร์ ซึ่งจะรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกโดยผ่านมาทางขา RA4/TOCK1

เมื่อโมดูลไทม์เมอร์ 0 ทำงานในโหมดเคาน์เตอร์ TMRO จะเพิ่มค่าขึ้น เมื่อมีสัญญาณนาฬิกานั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดที่บิต TOSE อันเป็นบิต 4 ของ รีจีสเตอร์ OPTION



รูปที่ 2.7 แผนผังการทำงานของไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F876

การอินเตอร์รัพต์ของ TMRO จะเกิดขึ้นเมื่อค่าของรีจีสเตอร์ TMRO เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 0xff มาเป็น 0x00 หรือเรียกว่า เกิดโอเวอร์โฟลว เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว บิต TOIF ซึ่งเป็นบิต 2 ของรีจีสเตอร์ INTCON จะเซตเป็น "1" และถ้าหากไม่ต้องการให้เกิดอินเตอร์รัพต์อันเนื่องมาจากการเกิดโอเวอร์โฟลวของ TMRO ให้ทำการเคลียร์บิต TOIE อันเป็นบิต 5 ของรีจีสเตอร์ INTCON

ถ้าหากเกิดโอเวอร์โฟลวแล้วต้องทำการเคลียร์บิต TOIF ด้วยวิธีการทางซอฟต์แวร์เท่านั้นก่อนที่จะออกจากการบริการอินเตอร์รัพต์ มิฉะนั้นจะเกิดการอินเตอร์รัพต์ซ้อนขึ้นเป็นระยะ ซึ่งทำได้โดยการเขียนโปรแกรมเพื่อเคลียร์บิต TOIF รวมเข้าไปในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัพต์อันเนื่องมาจาก TMRO เกิดโอเวอร์โฟลว

การใช้ TMRO กับสัญญาณนาฬิกาภายนอก เมื่อต้องการให้ TMRO ทำงานด้วยสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก สิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญมาก จังหวะเวลาของสัญญาณจะต้องสอดคล้องกับจังหวะการทำงานภายในของ PIC16F876 หรือเกิดการซิงโครไนเซชั่น (Syncronization) เมื่อมีการป้อนสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกให้แก่ TMRO ผ่านทางขา RA4/TOCKI และไม่มีการใช้ปรีสเกลเลอร์ภายใน PIC16F876 การซิงโครไนเซชั่นระหว่างสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกที่ขา RA4 / TOCKI กับสัญญาณนาฬิกาภายในจะเกิดขึ้นจากการสุ่มที่ไซเคิล Q2 และ Q4 ของสัญญาณ

นาฬิกาภายใน สัญญาณที่ขา TOCKI จะต้องมีคาบเวลามากกว่าสัญญาณนาฬิกาภายในหรือ TOSC อย่างน้อย 2 เท่า กรณีที่ใช้ปรีสเกลเลอร์สัญญาณนาฬิกาภายนอก จะถูกหารด้วยปรีสเกลเลอร์แบบวงจรนับ อะซิงโครนัส (Asynchronous Ripple Counter Type Prescaler) ทำให้เอาต์พุต ปรีสเกลเลอร์จะมีความสมมาตรกัน สัญญาณนาฬิกาภายนอกที่จะป้อนเข้าสู่ TMRO ต้องมีคาบเวลาอย่างน้อย 4 เท่าของ TOSC และความกว้างของสัญญาณนาฬิกาจะต้องไม่น้อยกว่า 10 นาโนวินาที

ผลทางเอาต์พุตของไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์จะให้ผลทางเอาต์พุต 2 ลักษณะ คือ อ่านค่าของโมดูลไทม์เมอร์ที่ รีจีสเตอร์ TMRO ที่แอดเดรส 0x01 และกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัพต์เมื่อเกิดโอเวอร์โฟลว จากการเปลี่ยนแปลงข้อมูล 0xff เป็น 0x00

ปรีสเกลเลอร์ เป็นตัวนับขนาด 8 บิตที่ทำหน้าที่ 2 อย่าง คือ เป็นปรีสเกลเลอร์เมื่อทำงานร่วมกับไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ และเป็น โพสต์-สเกลเลอร์ (Post Scaler) เมื่อทำงานร่วมกับวอตช์ด็อกไทม์เมอร์ ปรีสเกลเลอร์จะหารสัญญาณนาฬิกาอินพุตด้วยค่า 1 ใน 8 ค่าซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ โดยค่าของปรีสเกลเลอร์ที่สามารถกำหนดได้ประกอบด้วย 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 และ 256

การกำหนดค่าของปรีสเกลเลอร์ เพื่อทำการลดทอนสัญญาณนาฬิกาสามารถทำได้โดยกำหนดที่รีจีสเตอร์ OPTION 4 บิต คือ บิต PSA PS2 และ PS0

ค่าของปรีสเกลเลอร์จะถูกเคลียร์เมื่อ PIC16F876 กระทำคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการเขียนข้อมูลมายัง TMRO เช่นคำสั่ง Clrf คำสั่ง Movwf และคำสั่ง Bsf เป็นต้น

12. การใช้งาน EEPROM ภายใน

PIC16F876 มีหน่วยความจำแบบ EEPROM โดยสามารถอ่าน และเขียนในขณะทำงานปกติได้แต่ต้องโดยการเข้าถึงนั้นจะต้องทำผ่านรีจีสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษซึ่งต้องใช้ถึง 4 ตัวดังนี้

EECON1 และ EECON2 สำหรับ EECON1 เป็นรีจีสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ และ EECON2 ใช้เป็นซีเควน(Sequence) ของการเขียนเท่านั้นไม่สามารถอ่านและเขียนในขณะทำงานปกติ

บิต EEPGO เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่าจะเข้าถึง EEPROM หรือหน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Memory) คือ ถ้าเป็น “0” จะเป็นการเข้าถึงอีอีพรอม (EEPROM) ถ้าเป็น “1” เป็นการเข้าถึงหน่วยความจำแบบแฟลช

บิต RD และ WR เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่าจะเป็นการอ่านหรือเขียน โดยทั้งสองบิตนี้สามารถเซตได้โดยซอฟต์แวร์ อย่างเดียวแล้วจะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์ (Hardware) เมื่ออ่านหรือเขียนเสร็จเรียบร้อย

บิต WREN เป็นบิตที่ใช้อีนาเบิลการเขียน และปกติจะถูกดีสเอเบิล หรือเป็น “0”

บิต WRERR ใช้บอกว่าการเขียนเกิดขัดจังหวะจากการรีเซต (Reset) หรือวอตช์ด็อกทำงานซึ่งบิตนี้จะเซต “1” ถ้าเกิดกรณีทั้งสองขณะเขียนข้อมูลลงอีอีพรอม และถ้าไม่เกิดกรณีทั้งสองขณะเขียนข้อมูลจะเป็น “1”

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดของรีจีสเตอร์ EECON1

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0	R :อ่านค่าได้
U	U	U	R/W-0	R/W-X	R/W-0	R/S-0	R/S-X	W : เขียนค่าได้
-	-	-	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD	U : ไม่ใช้งาน "0"
								-n ค่าที่เกิดหลังเพาเวอร์ออนรีเซต

บิต 7-5 : ใน PIC16F876 ไม่ใช้บิตนี้ อ่านค่าได้เป็น "0"

บิต 4 : EEIF (EEPROM Write Operation Interrupt Flag Bit) บิตแสดงการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมสมบูรณ์ จะทำให้เกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น หากมีการอีนาเบิลไว้

"1" เมื่อการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมสมบูรณ์ (เคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์)

"0" เมื่อการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมไม่สมบูรณ์หรือยังไม่เริ่มต้นการเขียนข้อมูล

บิต 3 : WRERR (EEPROM Error Flag Bit) บิตแสดงความผิดพลาดในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอม

"1" เมื่อการเขียนข้อมูลถูกขัดจังหวะการเขียนข้อมูลเกิดความผิดพลาด

"0" เมื่อการเขียนข้อมูลสมบูรณ์

บิต 2 : WREN (EEPROM Write Enable Bit) บิตอีนาเบิลการเขียนข้อมูลยอมให้เกิดการเขียนข้อมูล

"1" ยอมให้เกิดการเขียนข้อมูล

"0" ไม่ยอมให้เกิดการเขียนข้อมูลยอมให้เกิดการเขียนข้อมูล

บิต 1 : WR (Write Control Bit) บิตควบคุมการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำอีอีพรอม

"1" แสดงถึงไซเคิลของการอินนิเชียล (Initial) การเขียนข้อมูล หรือใช้เป็นบิตเริ่มต้นการเขียนข้อมูลสามารถเซตได้ทางซอฟต์แวร์ และบิตนี้จะเคลียร์อัตโนมัติ เมื่อเกิดการเขียนข้อมูลเสร็จสมบูรณ์

"0" เมื่อไซเคิลของการเขียนข้อมูลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

บิต 0 : RD (Read Control Bit) บิตควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำอีอีพรอม

"1" แสดงถึงไซเคิลของการกำหนดค่าเริ่มต้นการอ่านข้อมูล หรือใช้เป็นบิตเริ่มต้นการอ่านข้อมูลสามารถเซตได้ได้ทางซอฟต์แวร์ บิตนี้จะเคลียร์อัตโนมัติเมื่อเกิดการเขียนข้อมูลเสร็จสมบูรณ์

"0" เมื่อไซเคิลของการเขียนข้อมูลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

EEDATA ใช้เป็นที่พักข้อมูลขนาด 8 บิตที่ต้องการอ่านหรือเขียนมีจำนวน 64 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x00 – 0x3F การเขียน และอ่านข้อมูลจะกระทำในระดับไบต์หรือครั้งละ 8 บิตเท่านั้น การเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมทุกครั้งต้องทำการลบข้อมูลออกก่อนเสมอ ซึ่งอัตราเร็วในการลบข้อมูลจะสูง ในขณะที่อัตราเร็วในการเขียนข้อมูลจะขึ้นอยู่กับไทม์เมอร์ในตัว PIC16F876 ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามแรงดัน และอุณหภูมิในขณะที่ทำการเขียนข้อมูลนั้น

เมื่อทำการป้องกันข้อมูลในหน่วยความจำอีอีพรอมแล้ว ซีพียูสามารถอ่าน และเขียนข้อมูลในหน่วยความจำได้เป็นปกติ แต่เครื่องโปรแกรมภายนอกจะไม่สามารถเข้าถึงหน่วยความจำส่วนนี้

EEADR เป็นรีจีสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมที่ต้องการเขียนโดยมีค่าตั้งแต่ 00H ถึง FFH (256 ไบต์)

13. คุณสมบัติพิเศษของซีพียู PIC16F876

คุณสมบัติพิเศษของซีพียู PIC16F876 สามารถแบ่งออกได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. การทำงานในโหมดสลีปหรือเพาเวอร์ดาวน์
2. การโปรแกรมแบบอนุกรมภายในวงจร
3. วอตช์ด็อกไทม์เมอร์
4. คาบเวลาของวอตช์ด็อกไทม์เมอร์
5. การรีเซตของ PIC 16F876
6. เพาเวอร์ออนรีเซต (POR)
7. เพาเวอร์อัปไทม์เมอร์ (PWRT)
8. ออสซิลเลเตอร์ สตาร์ทอัปไทม์เมอร์ (OST)

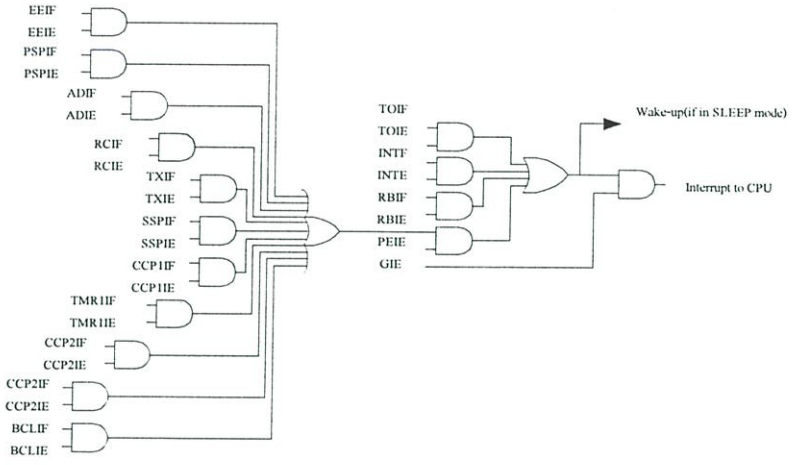
14. การอินเตอร์รัพต์ของ PIC16F876

การอินเตอร์รัพต์ (Interrupt) คือ การขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้นซีพียูจะทำงานจนจบไซเคิลนั้น แล้วจึงมาตอบสนองการอินเตอร์รัพต์โดยกระโดดมาทำงานยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ จนกระทั่งเมื่อตอบสนองการอินเตอร์รัพต์เรียบร้อยแล้ว ซีพียูจะกลับไปทำงานต่อจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก่อนหน้าการอินเตอร์รัพต์ ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 สามารถรับการอินเตอร์รัพต์โดยสรุปได้ 4 แหล่งกำเนิดดังนี้

1. สัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกป้อนเข้าที่ขา RB0/INT
2. การอินเตอร์รัพต์เนื่องจาก TMRO เกิดโอเวอร์โฟล์ว
3. การอินเตอร์รัพต์อันเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ขา RB4-RB7

4. การอินเตอร์รัพต์จากการเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมเสร็จ

PIC16F876 สามารถที่จะเลือกตอบสนองบางแหล่งกำเนิดก็ได้โดยการกำหนดที่รีจีสเตอร์ INTCON



รูปที่ 2.8 แผนผังลอจิกนัยสำคัญของตัวแปรที่ใช้ควบคุมการอินเตอร์รัพต์

ระดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ บิต GIE จะเป็นบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด ถ้าหากบิต GIE เป็น "0" จะเป็นการดิสเอเบิลการอินเตอร์รัพต์จากทุกแหล่งกำเนิด ในขณะเดียวกันถ้าหากบิต GIE เป็น "1" จะกำหนดให้ PIC16F876 พร้อมที่จะตอบสนองการอินเตอร์รัพต์จากทุกแหล่งกำเนิด ขึ้นกับว่าบิตควบคุมการอินเตอร์รัพต์อื่นๆ ในรีจีสเตอร์ INTCON จะมีการอีนาเบิลไว้หรือไม่ เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น PIC16F876 จะกระโดดไปทำงานที่แอดเดรส 0x04 ของหน่วยความจำโปรแกรมเสมอ ซึ่งโปรแกรมย่อยที่แอดเดรส 0x004 จะเรียกว่า โปรแกรมย่อยของการบริการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt) ทุกครั้งที่เกิดอินเตอร์รัพต์ ก่อนที่จะทำการเอ็กซิคิวต์ โปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัพต์ควรจะมีการหน่วงเวลาอย่างน้อย 3-4 ไซเคิลของการกระทำคำสั่ง (Instruction Cycle)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

พุธทอง โพธิปัญญา (2540. : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง วิธีการโดยสร้างชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ด้วยการวิเคราะห์หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยใช้ชุดประลองการติด

ต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ที่สร้างขึ้น เพื่อประกอบการเรียนการสอนวิชาหลักการเบื้องต้นของระบบรับส่ง ด้วยเส้นใยแก้วนำแสง แผนกวิชามัลติเพล็กซ์ มีเป้าหมายเพื่อนำไปลดปัญหาการขาดแคลนชุดประลอง และช่วยส่งเสริมทักษะการเรียนให้ดียิ่งขึ้น วิธีดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดประลอง ให้ตรงตามหลักสูตร ครอบคลุมเนื้อหาจำนวน 6 เรื่อง โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย ราคาประหยัด จากนั้นนำไปทดลองใช้ เพื่อหาประสิทธิภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพ ได้แก่ใบประลอง แบบทดสอบหลังการประลอง และแบบทดสอบรวมทุกการประลอง กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยคือผู้ที่ได้เข้ารับการอบรมของแผนกวิชามัลติเพล็กซ์ จำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ที่สร้างขึ้น มีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพ 84.42 /85.57 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

สมชาย รนต์ละออง (2537 : บทคัดย่อ) ทำการวิจัยสร้าง และหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชากลศาสตร์เครื่องกล เรื่องความเร็ว ความเร่ง ในกลไกเครื่องจักรกล ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูงพุทธศักราช 2533 โดยทำการทดลองกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง สาขาวิชาเครื่องกล วิชาเอกเทคนิคช่างยนต์ วิทยาลัยช่างกลปทุมวันที่ลงทะเบียนเรียนวิชา กลศาสตร์เครื่องกล ภาคเรียนฤดูร้อน ปีการศึกษา 2537 จำนวน 32 คน ผลปรากฏว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพ 83.78/81.40 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์กำหนด 80/80

วีรพันธ์ ติยันเสน (2538 : บทคัดย่อ) ได้ทำการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม เรื่องการวัดโดยระบบนิวเมติก หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้า พุทธศักราช 2532 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล โดยทำการทดลองกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างไฟฟ้า ชั้นปีที่ 2 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2538 จำนวน 30 คน ผลปรากฏว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพ 80.57/80.07 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์กำหนด 80/80

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการออกแบบวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 มีขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 วิธีดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้ และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเป็นอาจารย์ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีประสบการณ์ และมีความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์

กลุ่มตัวอย่าง

1. กลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาจำนวน 5 คน เป็นผู้ที่มีความรู้ และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเป็นอาจารย์ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาโทโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เพื่อทำการประเมินคุณภาพทางด้านการศึกษาของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

2. กลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมจำนวน 5 คน เป็นผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีประสบการณ์ และมีความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรี เพื่อทำการประเมินคุณภาพทางด้านวิศวกรรมของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างขึ้น ประกอบด้วย

3.2.1 ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็น ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ประกอบด้วยโมดูลบอร์ด 13 โมดูลบอร์ด ใบงานการทดลองและแบบทดสอบท้ายใบงาน 14 ใบงาน

3.2.2 แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยให้กลุ่มตัวอย่างประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้ทำการหาคุณภาพโดยแบ่งการประเมินคุณภาพออกเป็น 2 ด้านดังนี้

1. ด้านการศึกษา ประเมินโดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาจำนวน 5 ท่าน
2. ด้านวิศวกรรม ประเมินโดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมจำนวน 5 ท่าน

3.2.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือโดยอาศัยกรอบทฤษฎีการเรียนรู้ 7 เหตุการณ์ของ กาเย่และหลักในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 4 หัวข้อที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น มีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

1. การออกแบบวงจร และโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 มีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

1.1 ศึกษารายละเอียดวิธีการออกแบบวงจร และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการสร้างเครื่องมือ ที่ใช้ในการวิจัยแบบต่างๆ

1.2 กำหนดหัวข้อใบงานการทดลอง และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการจัดสร้างชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ใบงานที่ 1 การใช้งานพอร์ตของ PIC16F876
2. ใบงานที่ 2 การทำงานของ PIC16F876 กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RCและแบบคริสตอล (Crystal)
3. ใบงานที่ 3 การอินเตอร์รัพต์ PIC16F876
4. ใบงานที่ 4 การใช้งานไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F876 (Timer/Counter)

5. ใบงานที่ 5 การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)
6. ใบงานที่ 6 การใช้งาน PIC16F876 ขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน
7. ใบงานที่ 7 การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4x4
8. ใบงานที่ 8 การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
9. ใบงานที่ 9 การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับวงจรมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM)
10. ใบงานที่ 10 การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับสเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)
11. ใบงานที่ 11 การใช้งาน PIC16F876 แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล
12. ใบงานที่ 12 การใช้งาน PIC16F876 กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก
13. ใบงานที่ 13 การใช้งาน PIC16F876 เชื่อมต่อกับโซลิดสเตทรีเลย์ (Solid State Relay)
14. ใบงานที่ 14 การสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232

1.3 ออกแบบและสร้าง ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ตามกรอบแนวคิดการเรียนรู้ 9 เหตุการณ์ของกาเย่และหัวข้อการออกแบบผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยโมดูลบอร์ดของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จำนวน 13 โมดูลบอร์ด ใบงานการทดลอง และแบบทดสอบท้ายใบงานจำนวน 14 หัวข้อใบงาน

1.4 นำชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานการทดลองและแบบทดสอบท้ายใบงาน ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อพิจารณาตรวจสอบความถูกต้อง และความเหมาะสม

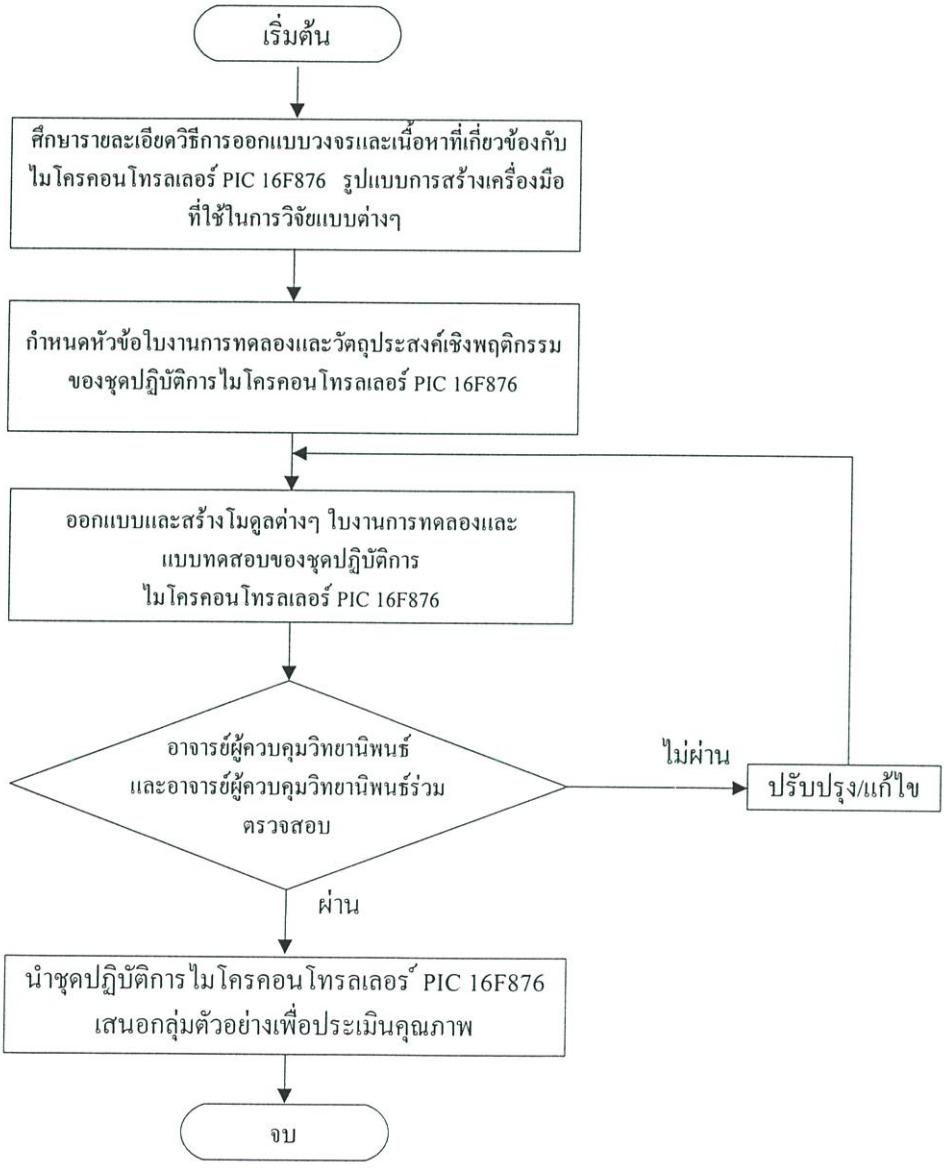
1.5 นำชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานการทดลองและแบบทดสอบท้ายใบงาน มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ ของอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

1.6 นำชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานการทดลองและแบบทดสอบท้ายใบงาน ที่ปรับปรุงแก้ไข ตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมเสนอต่อกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาจำนวน 5 ท่าน และ

กลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม จำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

1.7 วิเคราะห์หาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จากผลประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่าง

จากขั้นตอนการสร้างชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผู้วิจัยได้สร้างชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 สรุปได้ตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการสร้างชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

2. การสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

สำหรับแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ใช้ในการวิจัยผู้วิจัยได้สร้างขึ้นได้แบ่งออกเป็น 2 ด้านดังนี้

2.1 ด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

เป็นแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ผู้วิจัยใช้กรอบแนวคิด เรื่องกระบวนการเรียนรู้ 9 เหตุการณ์ของกาเย่ มาประยุกต์ใช้ เพียง 7 เหตุการณ์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดวิธีการออกแบบและสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้

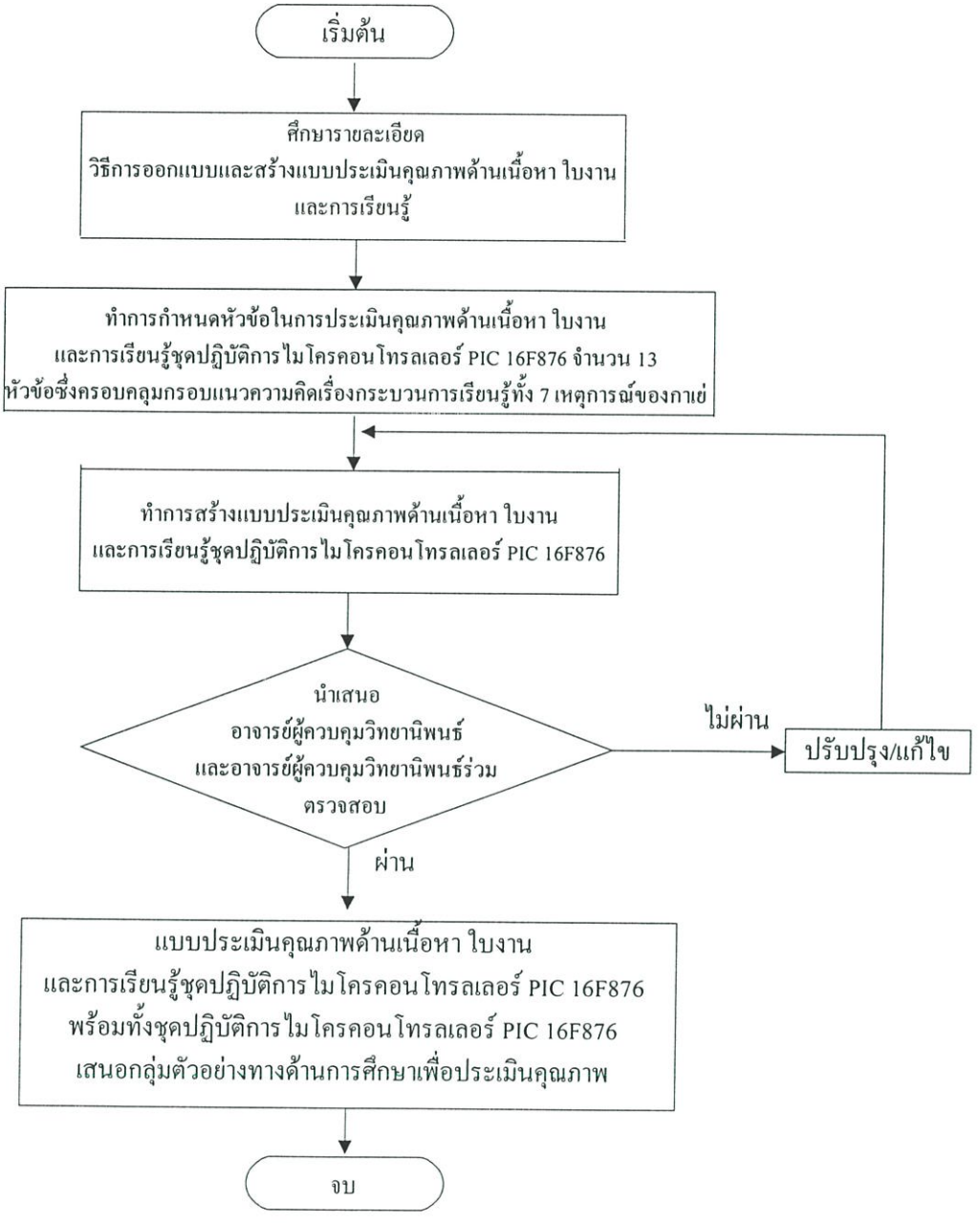
2. ทำการกำหนดหัวข้อในการประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จำนวน 13 หัวข้อซึ่งครอบคลุมกรอบแนวความคิดเรื่องกระบวนการเรียนรู้ทั้ง 7 เหตุการณ์ของกาเย่

3. ทำการสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

4. นำแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่สร้างขึ้น เสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมเพื่อทำการตรวจสอบและแก้ไข

5. นำแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ให้กับกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาทำการประเมินคุณภาพ

จากขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 สรุปได้ตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ด้านเนื้อหา ใบงาน และการเรียนรู้

2.2 แบบประเมิน ด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ด

เป็นแบบประเมินที่ผู้วิจัยใช้หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ ตามหลักการออกแบบทางวิศวกรรม ในหัวข้อหลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 4 หัวข้อ ดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดวิธีการออกแบบและสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

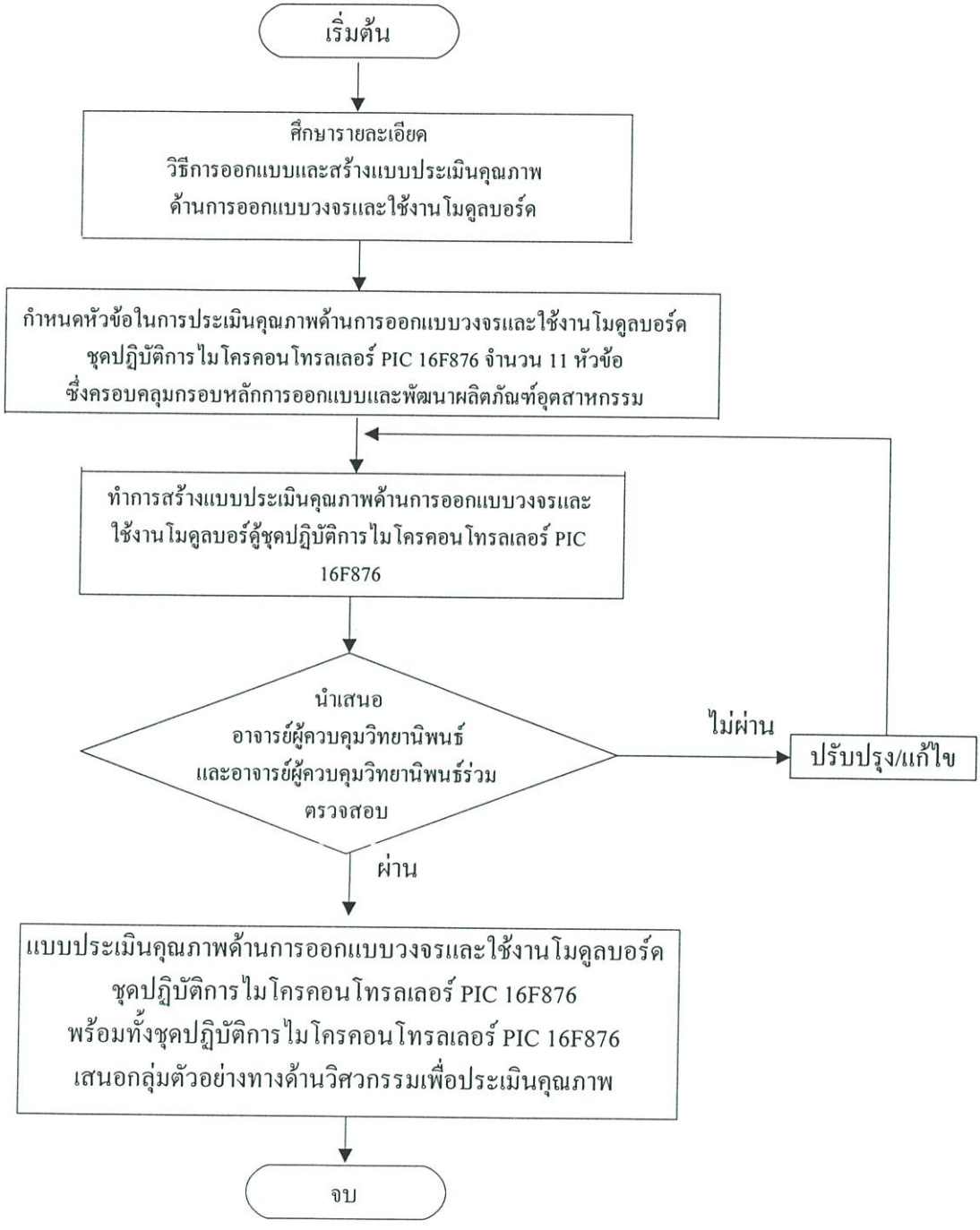
2. ทำการกำหนดหัวข้อในการประเมินแบบประเมินคุณภาพด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จำนวน 11 หัวข้อซึ่งครอบคลุมกรอบหลักการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3. ทำการสร้างแบบประเมินคุณภาพด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

4. นำแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ด ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่สร้างขึ้น เสนอต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมเพื่อทำการตรวจสอบและแก้ไข

5. นำแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ด ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขเรียบร้อยแล้วพร้อมทั้งชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ให้กับกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมทำการประเมินคุณภาพ

จากขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 สรุปได้ตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังขั้นตอนการสร้างแบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดู

แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ใช้สำหรับประเมินคุณภาพโดยกลุ่มตัวอย่าง เป็นแบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (rating scale) และผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อใช้สำหรับการหาคุณภาพทางด้านการศึกษาประเมินโดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา และกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม

แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ใช้สำหรับประเมินคุณภาพโดยกลุ่มตัวอย่าง เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

5 คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพดีมาก
4 คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพดี
3 คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพปานกลาง
2 คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพพอใช้
1 คะแนน	หมายถึง	มีคุณภาพควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์การประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ต้องการต้องอยู่ระดับคะแนนเฉลี่ยดีขึ้นไป

3.3 วิธีดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทำเป็นขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

1. ยื่นคำร้องต่องานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อออกหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยแก่กลุ่มตัวอย่าง

2. ผู้วิจัยนำหนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยจากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมไปติดต่อกลุ่มตัวอย่าง เพื่อขอความอนุเคราะห์ และนัดหมายในการทำวิจัย

3. นำชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานการทดลอง และแบบทดสอบ ไปให้กลุ่มตัวอย่างแต่ละท่านทดลองใช้ และประเมินคุณภาพ โดยมีรายนามกลุ่มตัวอย่างดังนี้

กลุ่มตัวอย่างด้านการศึกษา จำนวน 5 ท่าน ได้แก่

1. รศ.สมศักดิ์ มิตะถา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. รศ.ธีรวัฒน์ ประกอบผล	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

	เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ผศ.กิติพงค์ มะโน	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ผศ.ดร.คำรณ ศรีน้อย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
5. ผศ.สืบศักดิ์ พันธุ์ไพโรจน์	วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

กลุ่มตัวอย่างด้านวิศวกรรม จำนวน 5 ท่าน ได้แก่

1. ผศ.พินิจ เทพสาธร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
2. นายเกดิษฐ์ อ่อนชุม	บริษัทแอดวานซ์เอ็มเบดเด็ดซิสเต็มจำกัด
3. นายอโนทัย เศรษฐปาณี	บริษัทอินฟุสเมดิคัล ประเทศไทย จำกัด
4. นายโสภัทร ฉายสว่างวงศ์	บริษัทไมโครชิพเทคโนโลยี(ไทยแลนด์) จำกัด
5. นายชาญณรงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ	บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากการทำแบบประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ทั้งทางด้านการศึกษาและทางด้านวิศวกรรมของกลุ่มตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การกำหนดเกณฑ์ของแบบประเมินคุณภาพของ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

4.50-5.00 มีคุณภาพ อยู่ในระดับดีมาก

3.50-4.49 มีคุณภาพ อยู่ในระดับดี

2.50-3.49 มีคุณภาพ อยู่ในระดับปานกลาง

1.50-2.49 มีคุณภาพ อยู่ในระดับพอใช้

1.0 – 1.49 มีคุณภาพ อยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์ที่กำหนดของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ใช้ได้ต้องมีคุณภาพอยู่ในระดับดี คือ ต้องได้คะแนนอยู่ในระดับคะแนนเฉลี่ย 3.5 ขึ้นไป

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ในการวิเคราะห์หาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผู้วิจัยได้ใช้การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 164)

โดยมีสูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum X$ = ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. ในการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542 : 179)

$$\text{S.D.} = \sqrt{\frac{\Sigma(X - \overline{X})^2}{(N-1)}}$$

เมื่อ S.D. = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N = จำนวนข้อมูล

X = ค่าคะแนนแต่ละคน

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยของคะแนนทั้งหมด

ΣX = ผลรวมของคะแนน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย เรื่อง การออกแบบวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการประเมินคุณภาพทั้ง 2 ด้านคือด้านการศึกษาและด้านวิศวกรรม ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินที่ผู้วิจัยได้ทำขึ้น ผู้วิจัยได้นำเสนอแยกออกเป็น 2 หัวข้อ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา

4.2 ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม

4.1 ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา

ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา ที่มีต่อการออกแบบวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 เป็นคุณภาพด้านการศึกษาซึ่งได้จากการทำแบบประเมินด้านเนื้อหาใบงานและการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 14 ใบงาน รายละเอียดดังตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านการศึกษา ใบงานที่ 1-7

รายการ	ใบงานที่ 1		ใบงานที่ 2		ใบงานที่ 3		ใบงานที่ 4		ใบงานที่ 5		ใบงานที่ 6		ใบงานที่ 7	
	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ
1. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก
2. ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก
3. ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี
4. ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม	4.40	ดี	4.40	ดี	4.20	ดี	4.20	ดี	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี
5. คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน	4.00	ดี	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี
6. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.20	ดี	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก
7. การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม	4.20	ดี	3.80	ดี	4.60	ดีมาก	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก
8. แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก
9. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรร	4.40	ดี	4.20	ดี	4.20	ดี	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.40	ดี
10. ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4.40	ดี	4.20	ดี	4.20	ดี	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.40	ดี
11. ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง	4.80	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก
12. ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้ แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน	4.20	ดี	4.20	ดี	4.20	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี
13. ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก
รวม	4.43	ดี	4.40	ดี	4.45	ดี	4.45	ดี	4.60	ดีมาก	4.72	ดีมาก	4.57	ดีมาก

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านการศึกษา ใบงานที่ 8-14

รายการ	ใบงานที่ 8		ใบงานที่ 9		ใบงานที่ 10		ใบงานที่ 11		ใบงานที่ 12		ใบงานที่ 13		ใบงานที่ 14	
	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ
1. วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.40	ดี	4.40	ดี
2. ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	4.00	ดี	4.80	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.20	ดี	4.40	ดี
3. ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง	4.00	ดี	4.80	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.20	ดี	4.20	ดี
4. ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม	4.40	ดี	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.20	ดี
5. คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน	4.40	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก
6. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก
7. การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.20	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี
8. แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.20	ดี	4.20	ดี	4.00	ดี	4.40	ดี
9. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์	4.40	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.20	ดี	4.40	ดี
10. ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	4.20	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.20	ดี	4.20	ดี
11. ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.40	ดี
12. ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้ แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน	4.40	ดี	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	4.20	ดี	4.40	ดี	4.20	ดี	4.40	ดี
13. ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก
รวม	4.32	ดี	4.52	ดีมาก	4.71	ดีมาก	4.48	ดี	4.57	ดีมาก	4.31	ดี	4.40	ดี

จากตารางที่ 4.1 สรุปผลการผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านการศึกษา ใบงานที่ 1–7 ได้ดังนี้

ใบงานที่ 1 การใช้งานพอร์ตของ PIC 16F876 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.55 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้นใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถนำวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้นใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริงจากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 2 การทำงานของ PIC 16F876 กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC และแบบคริสตอล พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.66 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบ แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 3 การอินเตอร์รัพต์ของ PIC 16F876 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.54 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการ วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะ ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 4 การใช้งานไทเมอร์เคาท์เตอร์พอร์ตภายใน PIC 16F876 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.52 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์

การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 5 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับจอแสดงผลแบบผลึกเหลว พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.50 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการ วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรร ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้ ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 6 การใช้งาน PIC 16F876 ขับหน่วยแสดงผล 7 ส่วน พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.72 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.46 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรร ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้ ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้ แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อนผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 7 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4 x 4 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.60 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการ วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสมแบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอน ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

จากตารางที่ 4.2 สรุปผลการผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านการศึกษา ใบงานที่ 8-14 ได้ดังนี้

ใบงานที่ 8 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.61 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการการป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 9 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับวงจรมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ (PWM) พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.55 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการ วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 10 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับสเตปปิ้งมอเตอร์ พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.71 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.42 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการ วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรร ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้ ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 11 การใช้งาน PIC 16F876 แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.63 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการ วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรร ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจ

และน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้ ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 12 การใช้งาน PIC 16F876 แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.56 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้ ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนจริง ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 13 การใช้ PIC 16F876 เชื่อมต่อกับโซลิดสเตทรีเลย์ พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.55 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน มีคุณภาพดีมาก

ใบงานที่ 14 การใช้งาน PIC 16F876 สื่อสารข่อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.58 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาประเมินให้รายการคำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน มีคุณภาพดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านการศึกษา ของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยภาพรวมทั้ง 14 ใบงาน พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.60

4.2 ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างด้านวิศวกรรม

ผลการประเมินคุณภาพของกลุ่มตัวอย่างด้านวิศวกรรม ที่มีต่อการออกแบบวงจร และโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ด้านวิศวกรรมซึ่งได้จากการทำแบบประเมินด้านการออกแบบวงจรและการใช้งานโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จำนวน 13 โมดูลบอร์ด โดยแยกออกเป็นใบประเมินของแต่ละโมดูลบอร์ด รายละเอียดดังตารางที่ 4.3 ถึง ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านวิศวกรรม ของโมดูลบอร์ดที่ 1-7

รายการ	โมดูลบอร์ดที่ 1		โมดูลบอร์ดที่ 2		โมดูลบอร์ดที่ 3		โมดูลบอร์ดที่ 4		โมดูลบอร์ดที่ 5		โมดูลบอร์ดที่ 6		โมดูลบอร์ดที่ 7	
	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ
1. มีการระบุชื่อของโมดูลบอร์ดให้ผู้ใช้เห็นได้ชัดเจน	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี
2. ขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี
3. การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	3.80	ดี	4.40	ดี	5.00	ดีมาก	4.00	ดี	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก
4. การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4.40	ดี	4.40	ดี	5.00	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก
5. ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4.40	ดี	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.80	ดี	5.00	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.40	ดี
6. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน	4.40	ดี	4.20	ดี	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก
7. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร	4.00	ดี	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี
8. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้	4.60	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก
9. โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้	4.40	ดี	4.40	ดี	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	5.00	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.40	ดี
10. โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต	4.80	ดี	4.20	ดี	4.20	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.80	ดีมาก
11. บรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานในเก็บโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	3.60	ดี	3.60	ดี	3.80	ดีมาก	3.60	ดี	3.60	ดี	4.00	ดี	3.60	ดี
รวม	4.31	ดี	4.35	ดี	4.60	ดีมาก	4.49	ดี	4.65	ดี	4.60	ดีมาก	4.47	ดี

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านวิศวกรรม ของโมดูลบอร์ดที่ 8-13

รายการ	โมดูลบอร์ดที่ 8		โมดูลบอร์ดที่ 9		โมดูลบอร์ดที่ 10		โมดูลบอร์ดที่ 11		โมดูลบอร์ดที่ 12		โมดูลบอร์ดที่ 13	
	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ	$\overline{X}$	ระดับ
1. มีการระบุชื่อของโมดูลบอร์ดให้ผู้ใช้เห็นได้ชัดเจน	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.40	ดี	4.20	ดี
2. ขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี
3. การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.20	ดี
4. การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4.80	ดีมาก	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก
5. ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก
6. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.40	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.40	ดี	4.60	ดีมาก
7. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.20	ดี	4.40	ดี
8. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้	4.40	ดี	4.80	ดีมาก	4.60	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.40	ดี
9. โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้	4.60	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก	4.80	ดีมาก
10. โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต	4.80	ดีมาก	5.00	ดีมาก	5.00	ดีมาก	5.00	ดีมาก	5.00	ดีมาก	4.60	ดีมาก
11. บรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานในเก็บโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	3.80	ดี	3.80	ดี	3.80	ดี	3.80	ดี	3.80	ดี	3.80	ดี
รวม	4.55	ดีมาก	4.58	ดีมาก	4.58	ดีมาก	4.65	ดีมาก	4.55	ดีมาก	4.42	ดี

จากตารางที่ 4.3 สรุปผลการผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านวิศวกรรม โมดูลบอร์ดที่ 1-7 ได้ดังนี้

โมดูลบอร์ดที่ 1 โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.31 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.68 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 2โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.61 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 3 โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุตพื้นฐาน พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.53 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต บรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานในเก็บโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 4 โมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีดอตเมตริกซ์ พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.60 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการการออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 5 โมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.65 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.49 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม

โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 6 โมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตซ์ พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.53 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 7 โมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.61 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการการกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

จากตารางที่ 4.4 สรุปผลการผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านวิศวกรรม โมดูลบอร์ดที่ 8-13 ได้ดังนี้

โมดูลบอร์ดที่ 8 โมดูลบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EEPROM / Speaker พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.60 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 9 โมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ

0.54 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 10 โมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.55 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 11 โมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์ พบว่าในภาพรวม มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.65 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.49 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 12 โมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์ พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.65 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม การกำหนดตำแหน่งอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมี ลักษณะจูงใจ น่าสนใจ ในการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

โมดูลบอร์ดที่ 13 โมดูลบอร์ดทดลองวงจร พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.70 เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรม ประเมินให้รายการการออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม ฟังก์ชั่นการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต มีคุณภาพดีมาก

สรุปผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านวิศวกรรม ของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยภาพรวมทั้ง 13 โมดูลบอร์ด พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.58

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัย เพื่อพัฒนาและหาคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ได้เสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ด ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

2. เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

5.2 สมมติฐานการวิจัย

ความเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีขึ้นไป

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความรู้ และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเป็นอาจารย์ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีประสบการณ์ และมีความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์

กลุ่มตัวอย่าง

1. กลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาจำนวน 5 คน เป็นผู้ที่มีความรู้ และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์หรือเป็นอาจารย์ในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาโทด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เพื่อทำการประเมินคุณภาพทางด้านการศึกษาของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

2. กลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมจำนวน 5 คน เป็นผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญด้านเนื้อหา และการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่มีประสบการณ์ และมีความเชี่ยวชาญทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีวุฒิทางการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรีด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย เพื่อทำการประเมินคุณภาพทางด้านวิศวกรรมของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. ชุดปฏิบัติการ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็น ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ประกอบด้วยโมดูลบอร์ด ใบงานการทดลองและแบบทดสอบท้ายใบงาน

2. แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ทางด้านเนื้อหาใบงานและการเรียนรู้

3. แบบประเมินคุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ทางด้านการออกแบบวงจรและใช้งานโมดูลบอร์ด

5.5 การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. การพัฒนาชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 เพื่อให้มีคุณภาพดี ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังต่อไปนี้ ศึกษารายละเอียดวิธีการออกแบบวงจร และเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ทำการกำหนดหัวข้อใบงานการทดลอง และวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการจัดสร้างชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ และจัดสร้าง ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย โมดูลบอร์ดของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จำนวน 13 โมดูลบอร์ด ใบงานการทดลอง และแบบทดสอบท้ายใบงานจำนวน 14 หัวข้อใบงาน

2. นำชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานการทดลอง และแบบทดสอบท้ายใบงาน ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม เพื่อพิจารณาตรวจสอบความถูกต้อง และความเหมาะสม

3. นำชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานการทดลอง และแบบทดสอบท้ายใบงาน มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ ของอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

4. นำชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ใบงานการทดลอง และแบบทดสอบท้ายใบงาน ที่ปรับปรุงแก้ไข ตามข้อเสนอแนะ ของอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมต่อกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาจำนวน 5 ท่านและกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมจำนวน 5 ท่านเพื่อประเมินคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรล เลอร์ PIC 16F876

5.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยได้เตรียมชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ซึ่งประกอบด้วยโมดูลบอร์ด จำนวน 13 บอร์ด และใบงานปฏิบัติการ จำนวน 14 ใบงาน พร้อมแบบทดสอบท้ายใบงาน เพื่อนำเสนอให้กลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาและด้านวิศวกรรม ประเมินคุณภาพทางด้านการศึกษาและด้านวิศวกรรมของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยทำการประเมินจากแบบประเมินที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น

2. จากนั้นผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการประเมินของกลุ่มตัวอย่างทั้งทางด้านการศึกษาและทางด้านวิศวกรรมมาวิเคราะห์เพื่อทำการวิเคราะห์หาคุณภาพ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ต่อไป

5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ซึ่งการวิเคราะห์คุณภาพชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์จากการประเมินของกลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการประเมินแบบประเมินที่ผู้วิจัยทำขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ คุณภาพทางด้านการศึกษา และคุณภาพทางด้านวิศวกรรม ตามสมมติฐาน คือ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีขึ้นไป

5.8 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สามารถนำมาสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. สรุปผลการผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านการศึกษา ของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.60

2. สรุปผลการผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านวิศวกรรม ของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.58

5.9 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการประเมินคุณภาพ โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษา ในแต่ละใบงาน ผู้วิจัยพบว่า

ใบงานที่ 1 การใช้งานพอร์ตของ PIC 16F876 มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.43 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างให้ความเห็นว่า คุณภาพของใบงานอยู่ในระดับดี สะดวกต่อการใช้งาน และ การเรียนรู้ โดยนักศึกษาสามารถศึกษาชุดปฏิบัติการเบื้องต้นได้ด้วยตนเอง และสามารถประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องได้ แต่นักศึกษาควรมีความรู้พื้นฐานทางด้านโปรแกรมและการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์พอสมควร และควรเพิ่มการฝึกเขียนโปรแกรมด้วยตนเองให้มากขึ้น

ใบงานที่ 2 การทำงานของ PIC 16F876 กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC และแบบคริสตอล มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.40 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก ใบงานมีการชี้แจงขั้นตอนได้อย่างชัดเจน มีความเหมาะสม แต่ควรเพิ่มการฝึกเขียนโปรแกรมด้วยตนเองให้มากขึ้น และยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานจริงเพื่อให้นักศึกษาเข้าใจได้มากขึ้น

ใบงานที่ 3 การอินเตอร์รัพต์ของ PIC 16F876 มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.45 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพดี สามารถทดลองได้ง่าย แต่ก็ควรมีเนื้อหาและทฤษฎีให้มาขึ้น รวมถึงการยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานจริง

ใบงานที่ 4 การใช้งานไทเมอร์เคาท์เตอร์พอร์ตภายใน PIC 16F876 16F876 มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.45 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพดี สะดวกในการทดลอง แต่ควรใช้ Oscilloscope ประกอบการทดลอง เพิ่มการฝึกเขียนโปรแกรมเปลี่ยนแปลงความถี่ตามความต้องการ

ใบงานที่ 5 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับจอแสดงผลแบบผลึกเหลว มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.6 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ง่ายต่อการเรียนรู้ของนักศึกษา มีความเหมาะสมในการเชื่อมโยง นักศึกษาสามารถนำไปใช้งานจริงและประยุกต์ใช้งานได้

ใบงานที่ 6 การใช้งาน PIC 16F876 ขับหน่วยแสดงผล 7 ส่วน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.72 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก มีลักษณะจูงในและน่าสนใจ กระตุ้นให้นักศึกษาเกิดความคิดสร้างสรร มีความเหมาะสมในการเรียนรู้

ใบงานที่ 7 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4 x 4 ส่วน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.57 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ขั้นตอนง่ายต่อการเรียนรู้ นักศึกษาสามารถนำไปใช้งานจริงและประยุกต์ใช้งานได้ แต่ควรเพิ่มเติมโปรแกรมในรูปแบบต่างๆ และฟังก์ชันการทำงาน

ใบงานที่ 8 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.32 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีขั้นตอนชัดเจน แต่ควรเพิ่มเติมทฤษฎีและโปรแกรมที่เกี่ยวข้องให้มากขึ้น

ใบงานที่ 9 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับวงจรมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.52 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก มีขั้นตอนชัดเจน ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่มีความเหมาะสม

ใบงานที่ 10 การเชื่อมต่อ PIC 16F876 กับสเตปปิ้งมอเตอร์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.71 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ทฤษฎีง่ายต่อการเข้าใจและครอบคลุมหัวข้อใบงานได้ดี มีวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเหมาะสม สอดคล้องกับหัวข้อ

ใบงานที่ 11 การใช้งาน PIC 16F876 แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.48 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดี เข้าใจได้ง่าย มีการเชื่อมโยงเนื้อหาที่เหมาะสม แต่ควรเพิ่มการฝึกเขียนโปรแกรมด้วยตนเองให้มากขึ้น และยกตัวอย่างการประยุกต์เครื่องมือวัด

ใบงานที่ 12 การใช้งาน PIC 16F876 แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.57 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก เข้าใจได้ง่าย วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสม และมีความน่าสนใจในการเรียนรู้

ใบงานที่ 13 การใช้ PIC 16F876 เชื่อมต่อกับโซลิดสเตทรีเลย์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.31 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีความเหมาะสมของการเชื่อมโยงเนื้อหาภายในใบงาน แต่ควรเพิ่มเติมทฤษฎีบางส่วนที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเพิ่มเติมด้านการประยุกต์ใช้งานจริง

ใบงานที่ 14 การใช้งาน PIC 16F876 สื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.40 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก ใบงานมีคุณภาพอยู่ในระดับดี เข้าใจได้ง่าย คำชี้แจงลำดับขั้นตอนมีความชัดเจน เนื้อหามีความเหมาะสม แต่ควรเพิ่มเติม การฝึกเขียนโปรแกรมด้วยตนเองให้มากขึ้น รวมทั้งเพิ่มเติมด้านการประยุกต์ใช้งานจริง

การประเมินคุณภาพด้านการศึกษาของ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.60 มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์โดยรวมทั้ง 14 ใบงาน อยู่ในระดับดีขึ้นไป เนื่องจากการออกแบบและ

การกำหนดลำดับขั้น ในการเรียนรู้การทำใบงานของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC 16F876 มีการกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมอย่างชัดเจน การจัดทำทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน คำชี้แจงลำดับขั้นในการทำใบงานมีการบอกลำดับขั้นการทดลองที่ชัดเจน มีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในขณะที่ทำการศึกษาและทดลอง ใบงานการทดลองทั้ง 14 ใบงานที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นสามารถนำเอาไปใช้ในสถานะการณ์การเรียนการสอนได้จริง ผู้เรียนสามารถนำเอาความรู้ที่จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง เป็นต้น

จากผลการประเมินคุณภาพ โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านการวิศวกรรม ในแต่ละโมดูลบอร์ด ผู้วิจัยพบว่า

โมดูลบอร์ดที่ 1 โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.31 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากการออกแบบเหมาะสมลงตัว มีความแข็งแรงและมีพอร์ตสำหรับรองรับการขยายระบบในอนาคต แต่ควรเพิ่มความยืดหยุ่นในการทดลองมากขึ้น และปรับตำแหน่งอุปกรณ์บางตัวให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

โมดูลบอร์ดที่ 2 โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.35 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากขนาดมีความเหมาะสม บอร์ดมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร และสามารถใช้ทรัพยากรที่มีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ควรระบุชื่อโมดูลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

โมดูลบอร์ดที่ 3 โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุตพื้นฐาน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.60 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสมสำหรับเรียนรู้พื้นฐานของอินพุตเอาท์พุต ตำแหน่งอุปกรณ์มีความเหมาะสม สะดวกต่อการใช้งาน

โมดูลบอร์ดที่ 4 โมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีดอตเมตริกซ์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.49 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสมสำหรับการศึกษา เรียนรู้การควบคุม Dot Matrix LCD Module มี Buffer และ Driver บนบอร์ดพร้อม ออกแบบได้กระทัดรัด สวยงาม แต่ควรระบุชื่อโมดูลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

โมดูลบอร์ดที่ 5 โมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.65 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดมี LED แบบ Common Cathode และ Common Anode พร้อมบนบอร์ดเดียวกัน มีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้

โมดูลบอร์ดที่ 6 โมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตซ์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.60 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสมในการเรียนรู้ และประยุกต์ใช้งานในอนาคต

โมดูลบอร์ดที่ 7 โมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.47 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสม และมีแนวโน้มจำเป็นต่อการใช้งานในอนาคต บอร์ดมีความเหมาะสมในการประกอบการเรียนและประยุกต์ใช้งาน

โมดูลบอร์ดที่ 8 โมดูลบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EEPROM / SPEAKER มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.55 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสมในการเรียนรู้ การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อและอุปกรณ์การใช้งานมีความเหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

โมดูลบอร์ดที่ 9 โมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.58 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาเรียนรู้เกี่ยวกับการแปลง Analog to Digital / Digital to Analog สามารถใช้ประกอบการเรียนรู้และประยุกต์ใช้งานในอนาคต

โมดูลบอร์ดที่ 10 โมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.58 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสม ครบถ้วนสำหรับเรียนรู้การสื่อสารทั้งในแบบ RS-232 RS-422 และ RS-485 ซึ่งเป็นระบบที่ครอบคลุมสำหรับการใช้ในงานควบคุม

โมดูลบอร์ดที่ 11 โมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.65 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ มี LED แสดงสถานะอย่างครบถ้วน รวมทั้งตำแหน่งอุปกรณ์มีความเหมาะสม สะดวกในการใช้งาน และการประยุกต์ใช้งานจริง

โมดูลบอร์ดที่ 12 โมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์ มอเตอร์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.55 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากบอร์ดบอร์ดมีความเหมาะสมสำหรับการเรียนรู้ มี LED แสดงสถานะอย่างครบถ้วน น่าสนใจและจูงใจในการเรียนรู้

โมดูลบอร์ดที่ 13 โมดูลบอร์ดทดลองวงจร มอเตอร์ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 4.42 คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากบอร์ดมีความเหมาะสม สามารถใช้งานทดลองวงจรอื่น นอกเหนือจากโมดูลที่มี ทำให้สะดวกในการใช้งาน และประยุกต์ใช้ในอนาคต แต่ควรระบุชื่อโมดูลให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

การประเมินคุณภาพของ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.58 พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจากการออกแบบวงจรและโมดูลบอร์ดทั้ง 13 บอร์ด มีการระบุชื่อของโมดูลให้ผู้เรียนเห็นอย่างชัดเจน มีขนาดของโมดูลบอร์ดที่เหมาะสม กำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ได้ดี ออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อเหมาะสำหรับใช้งาน ฟังก์ชั่นการทำงานในแต่ละโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม มีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจรในขณะที่ใช้งาน โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีลักษณะน่าสนใจเรียนรู้ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอน เป็นต้น

ดังนั้น ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผู้วิจัยสร้างขึ้น จึงมีคุณภาพดี โดยประเมินจากการประเมินคุณภาพของ ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านการศึกษาได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้คือคุณภาพที่ดีจะต้องได้ค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.5 และการประเมินคุณภาพของ ชุดปฏิบัติการไมโคร

คอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 โดยกลุ่มตัวอย่างทางด้านวิศวกรรมได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้คือคุณภาพที่ดีจะต้องได้ค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3.5 อยู่จึงเป็นไปสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ว่าชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีคุณภาพที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วีรพันธ์ ติยันเสน (2538 : บทคัดย่อ) ที่ได้ทำการสร้างชุดการสอนวิชาเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม เรื่องการวัดโดยระบบนิวเมติก หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้า พุทธศักราช 2532 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล โดยทำการทดลองกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างไฟฟ้า ชั้นปีที่ 2 สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2538 จำนวน 30 คน ผลปรากฏว่า ชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีคุณภาพดี และสมชาย รนต์ละออง (2537 : บทคัดย่อ) ทำการวิจัยสร้างชุดการสอนวิชากลศาสตร์เครื่องกล เรื่องความเร็ว ความเร่ง ในกลไกเครื่องจักรกล ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูงพุทธศักราช 2533 โดยทำการทดลองกับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรครูเทคนิคชั้นสูง สาขาวิชาเครื่องกล วิชาเอกเทคนิคช่างยนต์ วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน ที่ลงทะเบียนเรียนวิชากลศาสตร์เครื่องกล ภาคเรียนฤดูร้อน ปีการศึกษา 2537 จำนวน 32 คน ผลปรากฏว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมีคุณภาพดี

5.10 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีดังนี้

1. ควรจัดหัวข้อการทดลองออกเป็นกลุ่มๆ เช่น กลุ่มเบสิกอินพุตเอาต์พุต กลุ่มของหน่วยแสดงผล เป็นต้น

2. ควรเพิ่มการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมในส่วนของการทดลองใบงานให้มากรวมทั้งการประยุกต์ใช้โปรแกรมในงานรูปแบบอื่นๆขึ้น

3. ควรเพิ่มเนื้อหาในส่วนของการใช้งานแบบระบบงานที่ใหญ่ เพื่อผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการทดลองในแต่ละขั้นตอนมารวบรวมเพื่อประยุกต์ใช้งาน จะทำให้ใบงานการทดลองสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

4. การใช้งานชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ควรมีการสาธิตการใช้งาน การเชื่อมต่อแผงวงจรในการทดลองให้กับผู้เรียนดูก่อนที่จะทำการลงมือทำการทดลองตามใบงานการทดลอง เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหาย ที่จะเกิดขึ้นในขณะฝึกปฏิบัติ

5. กล่องบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บอุปกรณ์ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ยังมีความบกพร่องในเรื่องของความเหมาะสมของช่องใส่โมดูลบอร์ดที่มีขนาดที่ใหญ่อาจทำให้โมดูลบอร์ดที่บรรจุอยู่ภายในเกิดความเสียหายได้

5.11 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการนำเอาชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่สร้างขึ้นไปทดลองใช้กับผู้เรียนจริง เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ของผู้เรียน และนำข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นไปปรับปรุงคุณภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2. ควรมีการนำเอาชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่สร้างขึ้นไปทำการหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 จากการทดลองจริงกับกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3. ผู้ที่จะพัฒนาชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ควรศึกษาถึงการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้ ภาษา C ที่มีรูปแบบการใช้งานที่ง่ายสะดวกและสามารถใช้งานในฟังก์ชั่นคณิตศาสตร์ที่ง่าย กว่าภาษาแอสแซมบลี้

บรรณานุกรม

ถนอมพร (ตันพิพัฒน์) เลาหจรัสแสง. 2541. **คอมพิวเตอร์ช่วยสอน.** กรุงเทพมหานคร : บริษัทวงกมล โพรดักชัน จำกัด.

บัญชา ธนบุญสมบัติ. 2543. **การออกแบบทางวิศวกรรม.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

พุธทอง โพธิปัญญา. 2540 "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดประลองการติดต่อสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รวีวรรณ ชินะตระกูล. 2542. **การทำวิจัยทางการศึกษา.** กรุงเทพมหานคร : บริษัท ที.พี. พริ้นท์ จำกัด

วีรพันธ์ ติยันเสน. 2538. "การสร้างและการหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชา เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม เรื่องการวัดโดยระบบนิวเมติก." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สมชาย รนต์ละออง. 2537. "การสร้างและการหาประสิทธิภาพชุดการสอน วิชากลศาสตร์เครื่องกล เรื่อง ความเร็ว ความเร่ง ในกลไกเครื่องจักรกล." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุพล แถมเงิน. 2538. "การสร้างและหาประสิทธิภาพ ชุดการสอน วิชาช่างซ่อม เครื่องยนต์เบนซิน (วอย. 01195) เรื่องระบบจุดระเบิด แบบพิเศษ หลักสูตรวิชาชีพระยะสั้นพุทธศักราช 2533 กรมอาชีวศึกษา." วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Iovine, J. 2000. **PIC Microcontroller Project Book.** McGraw Hill.

Peatman, B. J. 2002. **Embedded Design with the PIC18F452.** Prentice Hall.

Predko, Michael and Predko, Myke. 2000. **Programming and Customizing PICmicro Microcontrollers.** McGraw Hill .

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ใบงาน
ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

ใบงานที่ 1

การใช้งานพอร์ตของ PIC16F876

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมใช้งานพอร์ต (PORT) เป็นพอร์ตอินพุต (Input) ได้
2. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมใช้งานพอร์ตเป็นพอร์ตเอาต์พุต (Output) ได้
3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมเอาต์พุตจากอินพุตพอร์ตได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
3. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
4. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
5. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

ข้อกำหนดทางฮาร์ดแวร์ (Hardware) และการกำหนดทิศทางของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีพอร์ตสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก 3 พอร์ต คือ พอร์ต A มีขนาด 6 บิต พอร์ต B และพอร์ต C มีขนาด 8 บิต ซึ่งกระบวนการทางซอฟท์แวร์ (Software) จะเป็นตัวกำหนดให้แต่ละพอร์ตทำหน้าที่เป็นอินพุตเอาต์พุตได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต ขาแต่ละขาสามารถจ่ายกระแสออกได้สูงสุด 25 มิลลิแอมป์ และสามารถรับกระแสสูงสุดต่อขาได้ 20 มิลลิแอมป์ จึงสามารถนำไปขับไดโอดเปล่งแสงได้โดยต่อตัวต้านทานจำกัดกระแสเข้าไป

รีจิสเตอร์ TRISA, TRISB และ TRISC สำหรับกำหนดทิศทางการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ต A, B และ C ตามลำดับ เมื่อต้องการใช้งานเป็นอินพุตจะต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตที่ต้องการกำหนดให้เป็นอินพุต และถ้าหากต้องการใช้งานเป็นเอาต์พุตก็จะต้องเขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตที่ต้องการให้เป็นเอาต์พุต เช่น รีจิสเตอร์ TRISA บิต 0 (TRISA, 0) ใช้กำหนดทิศทางของ RA0 หรือ บิต 1 ของพอร์ต B (TRISB, 1) ใช้กำหนดทิศทางของ RB1 และบิตอื่นๆ ไล่ไปตามลำดับ

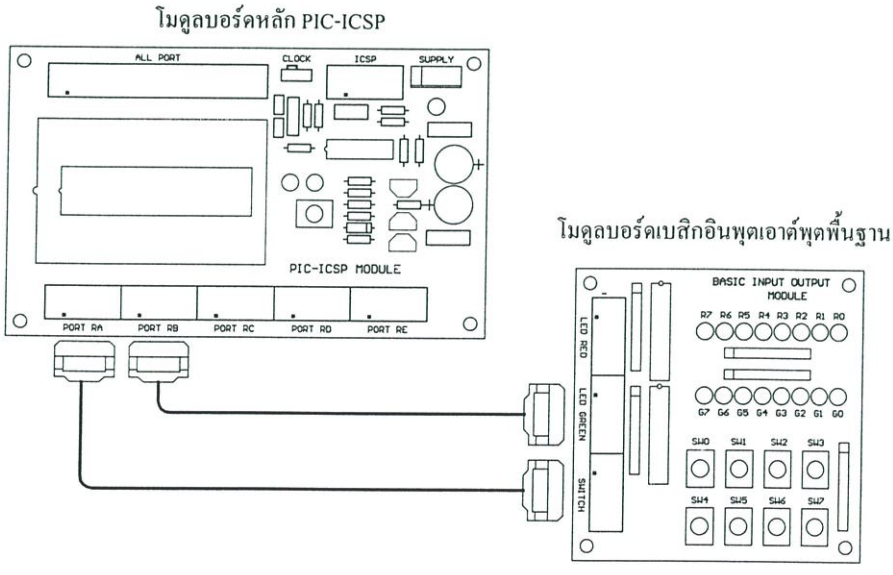
การเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดทิศทางของพอร์ตนั้น จะเริ่มจากการเลือกแบงก์ (Bank) ของรีจิสเตอร์ไฟล์ไปที่แบงก์ 1 โดยการเซตบิต RP0 ในรีจิสเตอร์ STATUS จากนั้นเขียนค่า "0" หรือ "1" ซึ่งเป็นการกำหนดทิศทางว่าเป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ไปยังรีจิสเตอร์ TRISA, TRISB หรือ TRISC ตามตำแหน่งบิตที่ต้องการ โดยแอดเดรส (Address) ที่อ้างถึงจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0x85, 0x86 และ 0x87 ตามลำดับ

หลังจากการกำหนดทิศทางของพอร์ตแล้ว ก็ต้องทำการเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ไฟล์ให้กลับมายังแบงก์ 0 เพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลกับพอร์ตจริงๆ โดยผ่านทางรีจิสเตอร์ PORTA, PORTB และ PORTC วิธีการก็คือ เคลียร์บิต RP0 ของรีจิสเตอร์ STATUS

```
bsc     STATUS,RP0      ; เลือกแบงก์ 1
movlw   0x06
movwf   ADCON1          ; พอร์ต A เป็นดิจิตอลอินพุต
movlw   b'11001111'
movwf   TRISA           ; เซต RA0-RA3 เป็นอินพุต ส่วน RA4-RA5 เป็นเอาต์พุต
bcf     STATUS,PR0

clrf    PORTA           ; การเคลียร์พอร์ต A
```

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างโปรแกรมย่อยเป็นการอินิเชียลพอร์ต A



รูปที่ 1.2 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP และโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

```
    List p=16f876
    #include "p16f876.inc"
    __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
Count1      equ     0x20
Count2      equ     0x21

            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            clrf    PORTB           ;พอร์ด B เป็นเอาต์พุต
            bcf     STATUS,RP0      ;เคลียร์ STATUS

Start       movlw   0xff            ;LED ติดทุกดวง
            movwf   PORTB
            call    Delay
            movlw   0x00            ;LED ดับทุกดวง
            movwf   PORTB
            call    Delay
            goto    Start

;------------ หน่วงเวลา ---------------
Delay       movlw   0xff
            movwf   Count1
Loop2       movlw   0xff
            movwf   Count2
Loop1       decfsz  Count2,F
            goto    Loop1
            decfsz  Count1,F
            goto    Loop2
            return

            end
```

รูปที่ 1.3 โปรแกรมการใช้งานพอร์ตของ PIC16F876

```
    List p=16f876
    Include "p16f876.inc"
__config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
Count1      equ     0x20
Count2      equ     0x21

            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x06            ;พอร์ด A เป็นดิจิตอลอินพุต
            movwf   ADCON1
            movlw   0xff
            movwf   PORTA
            clrf    PORTB           ;พอร์ด B เป็นเอาต์พุต
            bcf     STATUS,RP0
            clrf    PORTB
SW1         btfsc   PORTA,0         ;ตรวจสอบการกดสวิตช์ SW1
            goto    SW2
            movlw   0x01
            movwf   PORTB
            call    Delay

SW2         btfsc   PORTA,1         ;ตรวจสอบการกดสวิตช์ SW2
            goto    SW3
            movlw   0x02
            movwf   PORTB
            call    Delay
```

```
SW3         btfsc   PORTA,2         ;ตรวจสอบการกดสวิตช์ SW3
            goto    SW4
            movlw   0x04
            movwf   PORTB
            call    Delay

SW4         btfsc   PORTA,3         ;ตรวจสอบการกดสวิตช์ SW4
            goto    SW5
            movlw   0x08
            movwf   PORTB
            call    Delay

SW5         btfsc   PORTA,4         ;ตรวจสอบการกดสวิตช์ SW5
            Goto    SW6
            Movlw   0x10
            Movwf   PORTB
            Call    Delay

SW6         btfsc   PORTA,5         ;ตรวจสอบการกดสวิตช์ SW6
            Goto    SW1
            Movlw   0x20
            Movwf   PORTB
            Call    Delay
            Goto    SW1

;------------ หน่วงเวลา ----------------
Delay       movlw   0xFF
            Movwf   Count1
Loop1       movlw   0xFF
            Movwf   Count2
Loop2       decfsz  Count2,F
            Goto    Loop2
            Decfsz  Count1,F
            Goto    Loop1
            Return

            End
```

รูปที่ 1.4 โปรแกรมการควบคุมเอาต์พุตจากอินพุตพอร์ตของ PIC16F876

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เปิดโปรแกรม MPLAB ขึ้นมาใช้งานเพื่อเขียนโปรแกรม
2. ไปที่เมนู OPTION เลือก Development Mode กำหนดโหมดเป็น MPLAB-SIM Simulator
3. เลือก Process เป็นรุ่น PIC16F876 จากนั้นกดปุ่ม Apply แล้วกด OK
4. ไปที่เมนู Project เลือก New Project ตั้งชื่อ Project Name แล้วกด OK
5. ในเมนู Edit Project ให้ "Remove" Project Files ออกให้หมดถ้ามีไฟล์อยู่จากนั้นกด OK
6. ไปที่เมนู File เลือก New Source เพื่อเขียนโปรแกรมดังรูปที่ 1.3 ลงไป
7. จากนั้น save file เป็นนามสกุล . asm จากนั้นทำการแอสเซมเบลอร์

8. ไปที่เมนู Project เลือก Edit Project แล้วกำหนดชื่อไฟล์เป็น ชื่อที่เราบันทึกไว้ในข้อ 6 เพื่อ Add ไปยัง Project Files

9. ไปที่เมนู Project เลือก Make Project เพื่อแอสเซมเบลอร์โปรแกรม (หลังจากแอสเซมเบลอร์จะได้ไฟล์เป็นนามสกุล .hex)

10. ตรวจสอบผลการแอสเซมเบลอร์ว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ ถ้ามีจัดการแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้เรียบร้อย แล้วทำตามขั้นตอนในข้อ 8 อีกครั้งจนไม่มีข้อผิดพลาดอีก

11. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 โดยใช้โปรแกรม PIC-ICSP Device for Windows

12. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 1.2

13. สังเกตผลการทำงานของ LED ทั้ง 8 ดวง

.....

.....

14. ในบรรทัด Start movlw 0xFF ถ้าเปลี่ยนข้อมูลจาก 0xFF เป็น 0x01 จะได้ผลเป็นดังนี้

.....

.....

15. ถ้าต้องการให้ LED ดวงที่ 7 (บิตที่ 7) ติดและดับ จะต้องเปลี่ยนข้อมูลเป็นเท่าใด

.....

16. จากโปรแกรมดังรูปที่ 1.2 ถ้าต้องการให้พอร์ต A เป็นเอาต์พุตโดยให้ LED ติด-ดับทุกดวง จะต้องเขียนโปรแกรมอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

17. ทำการเขียนโปรแกรมดังรูปที่ 1.4 จากนั้น save file เป็นนามสกุล . asm ในหน้าต่าง edit จากนั้นทำการแอสเซมเบลอร์

18. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 โดยใช้โปรแกรม PIC ICSP Device for Windows

19. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 1.2

20. เมื่อมีการกดสวิตช์แต่ละตัว

ตารางที่ 1.1 ผลการติดของ LED จากการกดสวิตช์

สวิตช์	LED1	LED2	LED3	LED4	LED5	LED6
SW1						
SW2						
SW3						
SW4						
SW5						
SW6						

21. เมื่อไม่มีการกดสวิตช์ใดๆ สังเกตรูปแบบการแสดงผลของ LED แต่ละตัว

.....

.....

22. จากโปรแกรมดังรูปที่ 1.4 ถ้าต้องการให้กดสวิตช์ SW1 แล้ว LED ดวงที่ 1 และ 2 ติด และกดสวิตช์ SW2 แล้ว LED ติดทุกดวงจะต้องแก้ไขโปรแกรมเป็นดังนี้

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 1.3 และโปรแกรมดังรูปที่ 1.4
2. บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างพอร์ต A, B กับรีจิสเตอร์ TRISA และรีจิสเตอร์TRISB
3. เขียนโปรแกรมแสดงรูปแบบไฟวิ่ง 4 แบบ

เฉลยใบงานที่ 1
การใช้งานพอร์ตของ PIC16F876

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

23. เปิดโปรแกรม MPLAB ขึ้นมาใช้งานเพื่อเขียนโปรแกรม

24. ไปที่เมนู OPTION / Development Mode กำหนดโหมดเป็น MPLAB-SIM Simulator

25. เลือก Process เป็นรุ่น PIC 16F876 จากนั้นกดปุ่ม Apply แล้วกด OK

26. ไปที่เมนู Project เลือก New Project ตั้งชื่อ Project Name แล้วกด OK

27. ในเมนู Edit Project ให้ "Remove" Project Files ออกให้หมดถ้ามีไฟล์อยู่จากนั้นกด OK

28. ไปที่เมนู File เลือก New Source เพื่อเขียนโปรแกรมดังรูปที่ 1.3 ลงไป

29. จากนั้น save file เป็นนามสกุล . asm จากนั้นทำการแอสเซมเบลอร์

30. ไปที่เมนู Project เลือก Edit Project แล้วกำหนดชื่อไฟล์เป็น ชื่อที่เราบันทึกไว้ในข้อ 6. เพื่อ Add ไปยัง Project Files

31. ไปที่เมนู Project เลือก Make Project เพื่อแอสเซมเบลอร์โปรแกรมที่เขียนขึ้น (หลังจากแอสเซมเบลอร์จะได้ไฟล์เป็นนามสกุล .hex)

32. ตรวจสอบผลการแอสเซมเบลอร์ว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่ ถ้ามีจัดการแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้เรียบร้อย แล้วทำตามขั้นตอนในข้อ 8 อีกครั้งจนไม่มีข้อผิดพลาดอีก

33. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 โดยใช้โปรแกรม PIC-ICSP Device for Windows

34. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 1.2

35. สังเกตผลการทำงานของ LED ทั้ง 8 ดวง

LED ทั้ง 8 ดวงจะกระพริบคือ จะติดดับสลับกันไปเรื่อยๆ

36. ในบรรทัด Start movlw 0xFF ถ้าเปลี่ยนข้อมูลจาก 0xFF เป็น 0x01 จะได้ผลเป็นดังนี้

LED ดวงแรกซ้ายมือสุดจะกระพริบ ส่วนดวงอื่นๆที่เหลือจะดับ

37. ถ้าต้องการให้ LED ดวงที่ 7 (บิตที่ 7) ติดและดับ จะต้องเปลี่ยนข้อมูลเป็นเท่าใด

movlw 0x80

38. จากโปรแกรมดังรูปที่ 1.2 ถ้าต้องการให้พอร์ต A เป็นเอาต์พุตโดยให้ LED ติด-ดับทุกดวง จะต้องเขียนโปรแกรมอย่างไร

```
            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x00
            movwf   PORTA
            bcf     STATUS,RP0

Start       movlw   0xff
            movwf   PORTA
            call    Delay
            movlw   0x00
            movwf   PORTA
            call    Delay
            goto    Start
;-------------------------  Delay  Time -------------------------
Delay       movlw   0Xff
            movwf   Count1
Loop2       movlw   0Xff
            movwf   Count2
Loop1       decfsz  Count2,F
            goto    Loop1
            decfsz  Count1,F
            goto    Loop2
            return
            end
```

รูปที่ 1.1 เฉลยโปรแกรมกำหนดพอร์ต A เป็นเอาต์พุต

39. ทำการเขียนโปรแกรมดังรูปที่ 1.4 จากนั้น save file เป็นนามสกุล . asm ในหน้าต่าง edit จากนั้นทำการแอสเซมเบลอร์

40. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 โดยใช้โปรแกรม PIC ICSP Device for Windows

41. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 1.2

42. เมื่อมีการกดสวิตซ์แต่ละตัว

ตารางที่ 1.1 ผลการติดของ LED จากการกดสวิตช์

สวิตช์	LED1	LED2	LED3	LED4	LED5	LED6
SW1	ติด	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ
SW2	ดับ	ติด	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ
SW3	ดับ	ดับ	ติด	ดับ	ดับ	ดับ
SW4	ดับ	ดับ	ดับ	ติด	ดับ	ดับ
SW5	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ติด	ดับ
SW6	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ดับ	ติด

43. เมื่อไม่มีการกดสวิตช์ใดๆ สังเกตรูปแบบการแสดงผลของ LED แต่ละตัว

เมื่อไม่มีการกดสวิตช์ใดๆ LED จะดับทุกดวง

44. จากโปรแกรมดังรูปที่ 1.4 ถ้าต้องการให้กดสวิตช์ SW1 แล้ว LED ดวงที่ 1 และ 2 ติด และกดสวิตช์ SW2 แล้ว LED ติดทุกดวงจะต้องแก้ไขโปรแกรมเป็นดังนี้

```
SW1         btfsc  PORTA,1
            goto   SW2
            movlw  0x03
            movwf  PORTB
            call         Delay
SW2         btfsc  PORTA,2
            goto   SW3
            movlw  0xff
            movwf  PORTB
            call   Delay
```

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 1.2 และโปรแกรมในรูปที่ 1.3

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 1.2 คือ กำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุตจากนั้นก็นำข้อมูล FF ให้กับพอร์ต B ซึ่งเป็นการแสดงให้ LED สว่างทั้งหมด 8 ดวงจากนั้นก็หน่วงเวลาให้ไฟสว่างโดยที่ตาเราสามารถมองเห็นได้ หลังจากนั้นส่งข้อมูล 00 ให้กับพอร์ต B ซึ่งเป็นการทำให้หลอด LED ดับทั้ง 8 ดวงและหน่วงเวลาสักครู่ ดังนั้นโปรแกรมนี้จะเป็นการแสดงไฟกระพริบ ติด-ดับสลับกันไปเรื่อยๆ

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 1.3 คือ กำหนดให้พอร์ต A ต่อยู่กับสวิตช์เพื่อทำการเช็คสวิตช์ ส่วนพอร์ต B เป็นเอาต์พุตแสดงผลจากการกดสวิตช์ เริ่มจากตรวจสอบว่าพอร์ต A บิต 0 มีการกดสวิตช์ SW1 หรือไม่ ถ้ามีการกด (พอร์ต A บิต 0 เป็น 0) LED ที่ต่ออยู่กับพอร์ต B บิต 0 ก็จะสว่างแต่ถ้าไม่มีการกดสวิตช์ SW1 ก็จะไปตรวจสอบสวิตช์ SW2 , SW3, ไปเรื่อยๆ จนถึงสวิตช์ SW6 ไปเรื่อยๆ ถ้ากดสวิตช์ใด LED ดวงนั้นก็จะติด

2. จงบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างพอร์ต A พอร์ต B กับรีจีสเตอร์ TRISA และ TRISB

การที่เราจะกำหนดให้พอร์ต A หรือพอร์ต B เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตนั้นเราต้องกำหนดทิศทาง TRISA ให้กับพอร์ต A หรือกำหนดทิศทาง TRIAB ให้กับพอร์ต B โดยข้อมูลแต่ละบิตในรีจีสเตอร์ TRISA บิต 0 จะใช้กำหนดทิศทางของพอร์ต A บิต 0 ไล่เรียงกันไปจนถึงบิต 5 ของ ในทำนองเดียวกันกับรีจีสเตอร์ TRISB บิต 0 ก็กำหนดทิศทางของพอร์ต B บิต 0 ไล่เรียงกันไปจนถึงบิต 7

3. จงเขียนโปรแกรมแสดงรูปแบบไฟวิ่ง 4 แบบ

```
List p=16f876
Include "p16f876.inc"
 __config _WDT_OFF &  _PWRTE_ON &  _LVP_OFF &  _XT_OSC
```

```
Count1      equ     0x20
Count2      equ     0x21
DATA1       equ     0x22
            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            movlw   0xff
            movwf   PORTA
            clrf    PORTB
            bcf     STATUS,RP0
            clrf    PORTB
SW1         btfsc   PORTA,0
            Goto    SW2
Loop1       movlw   0x01
            Movwf   DATA1
Loop2       mowf    DATA1,W
            Movwf   PORTB
            Call    Delay
            Btfsc   PORTB,7
            Goto    Loop1
            Bcf     STATUS,C
            Rlf     DATA1,F
            Btfss   PORTA,1
            Goto    SW2
            Goto    Loop2
SW2         btfsc   PORTA,1
            Goto    SW3
Loop3       movlw   0x80
            Movwf   DATA1
Loop4       mowf    DATA1,W
            Movwf   PORTB
            Call    Delay
            Bcf     STATUS,C
            Rrf     DATA1,F
            Btfss   PORTA,1
            goto    SW3
            btfss   STATUS,C
            goto    Loop4
SW3         btfsc   PORTA,2
            goto    SW4
            movlw   0xC3
            movwf   PORTB
            call    Delay
            movlw   0x3C
            movwf   PORTB
            call    Delay
            goto    SW3
SW4         btfsc   PORTA,3
            goto    SW1
            movlw   0xf0
            movwf   PORTB
            call    Delay
            movlw   0x0f
            movwf   PORTB
            call    Delay
            goto    SW4

Delay       movlw   0xFF
            movwf   Count1
Loop1       movlw   0xFF
            movwf   Count2
Loop2       decfsz  Count2,F
            goto    Loop2
            decfsz  Count1,F
            goto    Loop1
            return
            end
```

รูปที่ 1.2 โปรแกรมแสดงรูปแบบไฟวิ่ง 4 แบบ

ใบงานที่ 2

การทำงานของ PIC16F876 กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC และแบบคริสตอล (Crystal)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC

2. เพื่อให้สามารถปรับความเร็วการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างอิสระจากการปรับค่าความต้านทานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC

3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อใช้กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC และคริสตอลได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
3. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
4. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
5. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

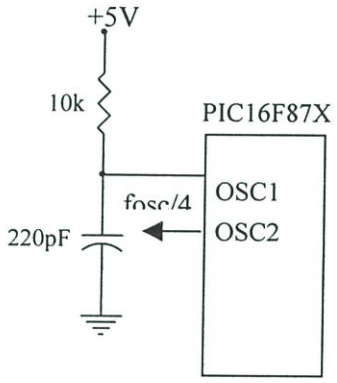
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 สามารถใช้งานกับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ทั้งหมด 4 ชนิดด้วยกันคือ

1. RC คือ การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ
2. XT คือ เรโซเนเตอร์หรือคริสตอล
3. HS คือ คริสตอลความเร็วสูง
4. LP คือ คริสตอลกำลังงานต่ำ

ในการทดลองนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC และแบบ XT เท่านั้น

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC

วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC นั้นจะมีข้อแตกต่างจากแบบอื่นคือเป็นการใช้วงจรสัญญาณนาฬิกาจากภายในแล้วต่อกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อจากภายนอกเพื่อกำหนดค่าความถี่ตามต้องการ ซึ่งจะทำให้ประหยัดอุปกรณ์ในการต่อจากภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์และช่วยให้วงจรมีขนาดเล็กลง ในขณะที่วงจรกำลังทำงานอยู่เราสามารถปรับสัญญาณนาฬิกาได้ 0-4 เมกะเฮิรตซ์ ลักษณะการต่อแบบ RC จะเป็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC

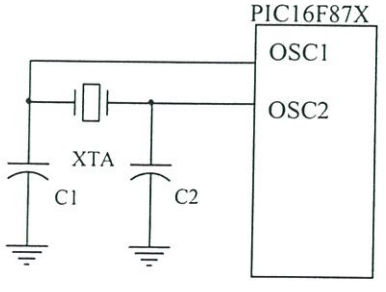
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาก็มีข้อเสียคือ ไม่สามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูงๆ ได้เพราะค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลงค่าตามสภาพแวดล้อมทำให้ค่าทั้งสองไม่คงที่ ค่าความต้านทานที่ทำให้เกิดเสถียรภาพที่ดีต้องอยู่ในช่วง 3-100 กิโลโอห์ม ถ้าค่าความต้านทานมากกว่า 100 กิโลโอห์ม สัญญาณนาฬิกาจะมีสัญญาณรบกวนมาก ส่วนค่าตัวเก็บประจุก็เหมือนกันจะต้องมีค่าตั้งแต่ 20 พิโกฟารัดขึ้นไป ถ้าค่าน้อยกว่า 20 พิโกฟารัดจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย นอกจากนี้ค่าความจุที่เกิดจากลายทองแดง บนแผ่นวงจรและค่าความจุระหว่างขาและตัวถังของตัวเก็บประจุก็อาจส่งผลต่อสัญญาณนาฬิกาได้เช่นกัน วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC จะไม่มีสูตรการคำนวณเพื่อเลือกค่าความถี่ที่แน่นอนแต่จะมีค่าโดยประมาณซึ่งกำหนดมาจากผู้ผลิตดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างความถี่สัญญาณนาฬิกาของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC

ค่าตัวเก็บประจุ	ค่าความต้านทาน	ค่าความถี่
20 pF	3.3 kΩ	4.68 MHz
20 pF	5.1 kΩ	3.94 MHz
20 pF	10 kΩ	2.34 MHz
20 pF	100 kΩ	250.16 kHz
100 pF	3.3 kΩ	1.49 MHz
100 pF	5.1 kΩ	1.12 MHz
100 pF	10 kΩ	620.31 kHz
100 pF	100 kΩ	90.25 kHz
300 pF	3.3 kΩ	524.24 kHz
300 pF	5.1 kΩ	415.52 kHz
300 pF	10 kΩ	270.33 kHz
300 pF	100 kΩ	25.37 kHz

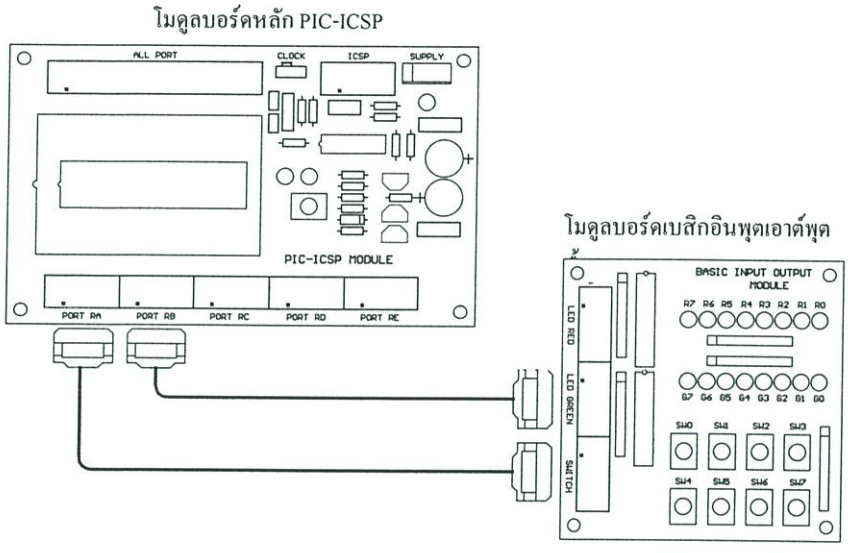
วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบคริสตอล

เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ใช้คริสตอลหรือเรโซเนเตอร์ มีความเที่ยงตรงสูงมาก การคำนวณเกี่ยวกับการหน่วงเวลาในการเขียนโปรแกรมจะทำให้แม่นยำมากขึ้นสัญญาณจะป้อนเข้าที่ขา OSC1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87X จะทำการหารความถี่ลง 4 เท่า ถ้าใช้คริสตอลค่า 4 MHz จะได้ความถี่ 1 MHz วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยใช้คริสตอลแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ XT

ในการต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ RC ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 นั้นห้ามนำสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกต่อที่ OSC1 เด็ดขาดเนื่องจากอาจทำให้ไมโครคอลโทรลเลอร์เกิดความเสียหายได้



รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP และโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

```
   List      p=16F84
   #include "p16f876.inc"
__config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _RC_OSC
COUNT1      equ      0x20
COUNT2      equ      0x21
            org      0x00
Start       bsf      STATUS,RP0
            clrf     PORTB
            bcf      STATUS,RP0
            clrf     PORTB
            movlw    0x01
            movwf    PORTB
            bcf      STATUS,C        ; เคลียร์แฟลกทด
Loop        call     Delay
            rlf      PORTB,f
            goto     Loop
;---------- DELAY TIME ----------
Delay       movlw    0x20
            movwf    COUNT1
Delay1      movlw    0xFF
            movwf    COUNT2
Delay2      decfsz   COUNT2,f
            goto     Delay2
            decfsz   COUNT1,f
            goto     Delay1
            return
            end
```

รูปที่ 2.4 โปรแกรมใช้ในการทดลองการกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 2.4 และทำการแอสเซมเบอร์
2. เขียนข้อมูลลงบนตัว PIC16F876
3. ต่อสายเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 2.3 และทำการเซตจั๊มเปอร์ไปที่โหมด RC ซึ่งเป็นการกำหนดให้วงจรทำงานในโหมด RC โดยให้พอร์ต A ต่ออยู่กับสวิตช์ และพอร์ต B ต่ออยู่กับ LED RED หรือ LED GREEN แต่ในการทดลองนี้จะใช้ LED GREEN
4. สังเกตผลการทำงานของ LED ทั้ง 8 ดวงที่ต่ออยู่กับพอร์ต B

.....

.....

5. เปลี่ยนส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกามาเป็นแบบ XT โดยเปลี่ยนการเซตจั๊มเปอร์
6. เปลี่ยนโปรแกรมรูปที่ 2.4 บรรทัดที่ 3 กำหนดสัญญาณนาฬิกาจาก _RC_OSC เป็น _XT_OSC แล้วทำการแอสเซมเบอร์ใหม่ แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 อีกครั้ง
7. สังเกตผลการทำงานของไดโอดเปล่งแสงทั้ง 8 ดวงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองข้อ 4 จะได้

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกข้อดีในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาทั้งแบบ RC และ XT มาพอเข้าใจ
2. จงอธิบายการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 2.4 พอเข้าใจ
3. จงเขียนโปรแกรมแสดงไฟกระพริบ 8 ดวง โดยใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาแบบ XT

เฉลยใบงานที่ 2

การทำงานของ PIC16F876 กับวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา แบบ RC และแบบคริสตอล (Crystal)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

8. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 2.4 และทำการแอสเซมเบอร์

9. เขียนข้อมูลลงบนตัว PIC16F876

10. ต่อสายเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 2.3 และทำการเซตจั๊มเปอร์ไปที่โหมด RC ซึ่งเป็นการกำหนดให้วงจรทำงานในโหมด RC โดยให้พอร์ต A ต่ออยู่กับสวิตช์ และพอร์ต B ต่ออยู่กับ LED RED หรือ LED GREEN แต่ในการทดลองนี้จะใช้ LED GREEN

11. สังเกตผลการทำงานของ LED ทั้ง 8 ดวงที่ต่ออยู่กับพอร์ต B

LED จะวิ่งจากขวาไปซ้ายไปเรื่อยๆ

12. เปลี่ยนส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกามาเป็นแบบ XT โดยเปลี่ยนการเซตจั๊มเปอร์

13. เปลี่ยนโปรแกรมรูปที่ 2.4 บรรทัดที่ 3 กำหนดสัญญาณนาฬิกาจาก _RC_OSC เป็น _XT_OSC แล้วทำการแอสเซมเบอร์ใหม่

14. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 อีกครั้ง

15. สังเกตผลการทำงานของ LED ทั้ง 8 ดวงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองข้อ 4 ได้

LED จะวิ่งจากขวาไปซ้ายไปเรื่อยๆ เหมือนกับข้อที่ 4 แต่จะวิ่งเร็วกว่า

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกข้อดีในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาทั้งแบบ RC และ XT มาพอเข้าใจ

ข้อดีของ RC

- กำหนดค่าความถี่ได้ตั้งแต่ 0-4 กิโลเฮิรตซ์
- ประหยัดอุปกรณ์ในการทดลอง
- วงจรมีขนาดเล็ก

ข้อดีของ XT

- สัญญาณมีความเที่ยงตรงสูง
- การคำนวณการหน่วงเวลาแม่นยำ
- การคำนวณความถี่แม่นยำ

2. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมรูปที่ 2.4 พอเข้าใจ

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 2.4 คือ กำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุตแสดงไฟวิ่งจากขวาไปซ้ายไปเรื่อยๆ ซึ่งการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาทั้งแบบ RC และ XT จะใช้โปรแกรมเดียวกัน

ใบงานที่ 3
การอินเตอร์รัพต์ PIC16F876

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถเซตบิตที่สำหรับตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ใน รีจิสเตอร์ INCON ได้
2. เพื่อให้สามารถอธิบายหลักการอินเตอร์รัพต์แบบต่างๆ ได้
3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมใช้งานการอินเตอร์รัพต์แบบต่างๆได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
3. โมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตซ์
4. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
5. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
6. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

การอินเตอร์รัพต์ คือ การขัดจังหวะการทำงานปกติของระบบไมโคร ปกติเมื่อเริ่มจ่ายไฟในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต PIC16F876 จะเริ่มต้นการทำงานที่ตำแหน่ง 0x00 เสมอและทำงานไล่เรียงตามลำดับไปทีละแอดเดรส แต่ถ้าเกิดการอินเตอร์รัพต์เกิดขึ้น PIC16F876 จะประมวลผลและกระทำคำสั่งล่าสุดในขณะที่เกิดการอินเตอร์รัพต์จนเสร็จสิ้น แล้วจึงกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่ง 0x04 ดังนั้นโปรแกรมย่อยของการบริการอินเตอร์รัพต์ (Interrupt Service Routine) จะเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 0x04 เสมอ

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF

บิต 0 : RBIF เป็นแฟลกแสดงการเกิดอินเตอร์รัพต์เนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกที่บิต 4-7 ของพอร์ต B (Port B Change Flag)

0 = ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ขา 4-7 ของพอร์ต B

1 = เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นที่ขาใดขาหนึ่งของบิต 4-7 ของพอร์ต B

จะต้องเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

บิต 1 : INTF เป็นแฟลกแสดงการเกิดอินเตอร์รัพต์เนื่องจากสัญญาณภายนอก (External Interrupt Flag)

0 = ไม่มีการอินเตอร์รัพต์จากภายนอกเกิดขึ้น

1 = เกิดอินเตอร์รัพต์จากภายนอก

จะต้องเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

บิต 2 : TOIE แฟลกแสดงการเกิดการอินเตอร์รัพต์เนื่องจาก TMR0 เกิดโอเวอร์โฟลว์(TMR0 Overflow Interrupt Flag)

0 = TMR0 ไม่เกิดโอเวอร์โฟลว์

1 = TMR0 เกิดโอเวอร์โฟลว์

จะต้องเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

บิต 3 : RBIE เป็นบิตอีนาเบิลอินเตอร์รัพต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่พอร์ต B (Port B Change Interrupt Enable)

0 = ดิสเอเบิล (ไม่ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

1 = อีนาเบิล (ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

บิต 4 : INTE เป็นบิตอีนาเบิลอินเตอร์รัพต์เนื่องจากสัญญาณภายนอก(External Interrupt Enable)

0 = ดิสเอเบิล (ไม่ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

1 = อีนาเบิล (ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

บิต 5 : TOIE เป็นบิตอีนาเบิลอินเตอร์รัพต์เนื่องจาก TMR0 เกิดโอเวอร์โฟลว์ (TMR0 Overflow Interrupt Enable)

0 = ดิสเอเบิล (ไม่ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

1 = อีนาเบิล (ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

บิต 6: EEIE บิตอีนาเบิลอินเตอร์รัพต์เนื่องจากการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำอีอีพรอมเสร็จสมบูรณ์(EEPROM Write Complete Interrupt Enable)

0 = ดิสเอเบิล (ไม่ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

1 = อีนาเบิล (ยอมให้เกิดการอินเตอร์รัพต์)

บิต 7 : GIE เป็นบิตอีนาเบิลการอินเตอร์รัพต์ทุกเงื่อนไข(Global Interrupt Enable)

0 = ดิสเอเบิลการอินเตอร์รัพต์ทุกเงื่อนไข

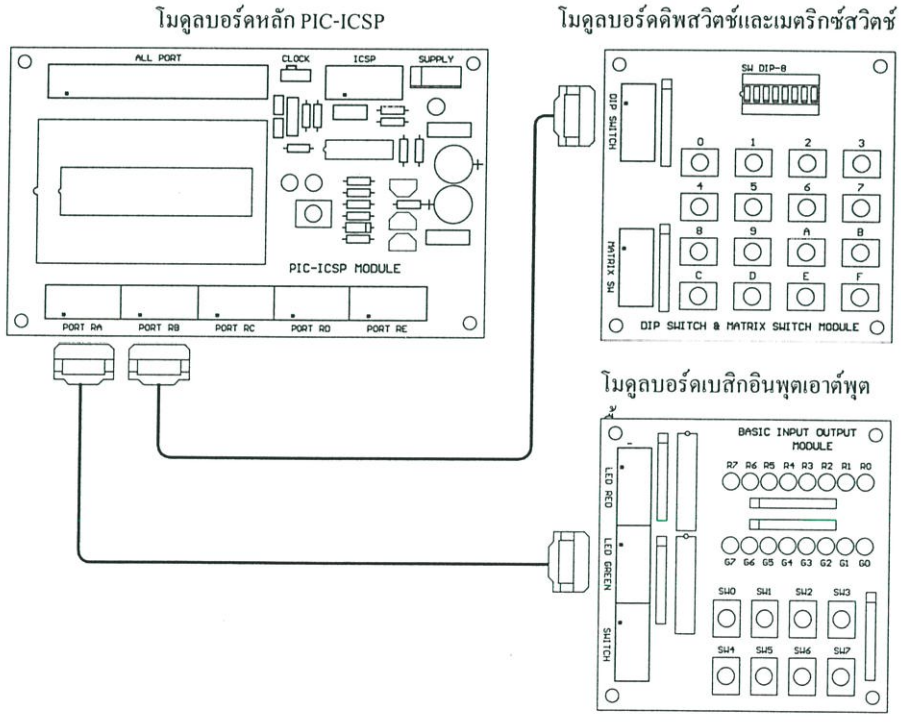
1 = อีนาเบิลการอินเตอร์รัพต์ทุกเงื่อนไข

รูปที่ 3.1 ความหมายของบิตต่างๆ ในรีจิสเตอร์ INTCON

การอีนาเบิลการตอบสนองการอินเตอร์รัพต์

การตอบสนองการอินเตอร์รัพต์สามารถทำได้ 2 ระดับคือ เลือกที่จะตอบสนองหรือไม่ตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ในเงื่อนไขต่างๆ และเลือกที่จะตอบสนองหรือไม่ตอบสนองการบริการอินเตอร์รัพต์ในทุกรูปแบบโดยการกำหนดข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ควบคุมการอินเตอร์รัพต์หรือ INTCON ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่ 0x0B ดังรูปที่ 3.1

ถ้าเราต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ต้องเซตบิตที่ GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON ทุกครั้ง จากนั้นจึงมาเลือกว่าต้องการให้ PIC16F876 ตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ในรูปแบบใด หากเราไม่เซตบิต GIE ก่อน โดยที่บิต GIE ยังเป็น “0” อยู่ จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ไม่สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ในรูปแบบต่างๆได้



รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ด PIC-ICSP โมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตซ์และโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

```
   list p=16f877
   include "p16f877.inc"
  __config _CP_OFF & _PWT_ON & _WDT_OFF & _XT_OSC
COUNT1      equ     0x0d
COUNT2      equ     0x0e
COUNT3      equ     0x0f
SAVE_W      equ     0x11
SAVE_S      equ     0x12
            org     0x00
            goto    Start
            org     0x04
            goto    Isr
;------------ Set port -------------
Start       bsf     STATUS,RP0      ; Bank 1
            clrf    PORTA           ; PortA = OUTPUT
            movlw   0xff            ; PortB = INPUT
            movwf   PORTB           ;
            bcf     STATUS,RP0      ; Bank 0
;-------- Enable Interupt ----------
            bcf     INTCON,RBIF
            bsf     INTCON,RBIE
            bsf     INTCON,GIE
;-------------- MAIN -------------
Show_ON     movlw   0xFF
            movwf   PORTA           ; LED OFF
            call    Delay
            clrf    PORTA
            call    Delay
            goto    Show_ON
;--- Interupt Service Routine-----
Isr         movwf   SAVE_W          ; Save W Register
            movf    STATUS,W
            movwf   SAVE_S
            clrf    PORTA
            btfss   PORTB,7
            bsf     PORTA,3
            btfss   PORTB,6
            bsf     PORTA,2
            btfss   PORTB,5
            bsf     PORTA,1
            btfss   PORTB,4
            bsf     PORTA,0
            movlw   0x10            ; Blink = 16
            movwf   COUNT3
Loop        call    Delay
            decfsz  COUNT3,F
            goto    Loop
            goto    End_Isr
End_Isr     movf    SAVE_S,W
            movwf   STATUS
            swapf   SAVE_W,F        ; Restore W
            swapf   SAVE_W,W
            movf    PORTB,W
            bcf     INTCON,RBIF     ; Clear Interupt Flag
            retfie
;--------Delay Subrutine --------;
Delay       movlw   0xaa
            movwf   COUNT1
Dec2        movlw   0xff
            movwf   COUNT2
Dec1        decfsz  COUNT2,F
            goto    Dec1
            decfsz  COUNT1,F
            goto    Dec2
            return
            end
```

รูปที่ 3.3 โปรแกรมการอินเตอร์รัพต์เนื่องจากแปลงลอจิกที่บิต 4 ถึง 7 ของพอร์ต B

```
   List p=16f876
   include "p16f876.inc"
  __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
 COUNT1   equ      0x20
 COUNT2   equ      0x21
 COUNT3   equ      0x22
 COUNT4   equ      0x23
 SAVE_W   equ      0x24
 SAVE_S   equ      0x25
 GIE      equ      7
 INTE     equ      4
 INTF     equ      1

          org      0x00
          goto     Start
          org      0x004
          goto     Inter

 Start    bsf      STATUS,RP0        ; Bank 1
          movlw    0x06
          movwf    ADCON1
          clrf     TRISA             ; PortA = OUTPUT
          movlw    b'00111111'
          movwf    OPTION_
          bcf      STATUS,RP0        ; Bank 0
          clrf     PORTB
 ;------- Enable Interupt --------;
          bcf      INTCON,INTF
          bsf      INTCON,INTE
          bsf      INTCON,GIE
 ;----------- MAIN ---------------;
          clrf     PORTA             ; LED OFF
 Disp_ON  call     Delay
          bsf      PORTA,0           ; RA0 ON
 Left     call     Delay
          bcf      STATUS,C
          rlf      PORTA,F
          btfss    PORTA,3
          goto     Left
 Right    call     Delay
          bcf      STATUS,C
          rrf      PORTA,F
          btfss    PORTA,0
          goto     Right
          goto     Disp_ON

 ;--------- Interupt -------------;
 Inter    bcf      INTCON,INTF
          movwf    SAVE_W
          movf     STATUS,W
          movwf    SAVE_S
          movlw    0x10
          movwf    COUNT4
 Blink    movlw    0x0f
          movwf    PORTA
          call     Delay
          clrf     PORTA
          call     Delay
          decfsz   COUNT4,F
          goto     Blink
          bsf      PORTA,2
 End_Int  movf     SAVE_S,W
          movwf    STATUS
          swapf    SAVE_W,F
          swapf    SAVE_W,W
          retfie
 ;----------Delay Time -----------;
 Delay    movlw    0xaa
          movwf    COUNT1
 Dec1     movlw    0xff
          movwf    COUNT2
```

```
Dec2    decfsz   COUNT2,F
        goto     Dec2
        decfsz   COUNT1,F
        goto     Dec1
        return

        end
```

รูปที่ 3.4 การอินเตอร์รัพต์จากการป้อนสัญญาณภายนอกเข้าที่ขา RB0/INT

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 3.2
2. เขียนโปรแกรมรูปที่ 3.3 ทำการแอสเซมเบลอร์
3. จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต ผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

4. เลื่อนดิพสวิตช์ D0 ขึ้นด้านบนเพื่อป้อนสัญญาณ “0” เข้าที่ขา RB7 ผลที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

.....

.....

5. แก้ไขโปรแกรมดังรูปที่ 3.3 จาก bcf INTCON, RBIF เป็น nop ผลที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

.....

.....

6. จากข้อ 4 เปลี่ยนจากการป้อนสัญญาณ “0” เข้าที่ขา RB7 เป็น RB4 แทน สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 4

.....

.....

7. จากข้อ 6 เปลี่ยนขาจาก RB4 เป็นขา RB5 สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 6

.....

.....

8. จากข้อ 6 เปลี่ยนขาจาก RB4 เป็นขา RB6 สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 4

.....

.....

9. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 3.2

10. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 3.4 ทำการแอสเซมเบลอร์

11. จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

12. เปลี่ยนรูปแบบการอินเตอร์รัพต์จากขอบขาขึ้นเป็นขอบขาลง โดยการกำหนดบิต 6 ของรีจิสเตอร์ OPTION เป็น "1" แล้วทำการทดลองอีกครั้ง

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. บิตใดในรีจิสเตอร์ INTCON ที่อีนาเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์เนื่องจากบิต 4 ถึงบิต 7 ของพอร์ต B เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิก

2. การเลือกขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกกระทำได้อย่างไร

3. บิต GIE มีความสำคัญอย่างไรต่อการอินเตอร์รัพต์

4. จงเขียนโปรแกรมแสดงการอินเตอร์รัพต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่บิต 4 ถึง 7 ของพอร์ต B โดยแสดงไฟวิ่งจากซ้ายไปขวาเมื่อไม่เกิดการอินเตอร์รัพต์

เฉลยใบงานที่ 3
การอินเตอร์รัพต์ PIC16F876

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

13.ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 3.2

14.เขียนโปรแกรมที่ 3.4 ทำการแอสเซมเบลอร์

15.จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต ผลที่ได้เป็นดังนี้

จะเป็นไฟ LED กระพริบ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงที่พอร์ต B จะเกิดไฟติดค้างที่พอร์ต A ตามพอร์ตที่เปลี่ยนแปลงสักครู่แล้วที่พอร์ต B กลับมากระพริบเหมือนเดิม

16.เลื่อนดิพสวิตช์ D0 ขึ้นด้านบนเพื่อป้อนสัญญาณ “0” เข้าที่ขา RB7 ผลที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

หลอด LED ที่พอร์ต RA3 จะติดค้างอยู่สักครู่

17.แก้ไขโปรแกรมดังรูปที่ 3.3 จาก bcf INTCON, RBIF เป็น nop ผลที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

เมื่อกดดิพสวิตช์แล้วหลอดไฟจะติดอยู่ครู่หนึ่ง

18.จากข้อ 4 เปลี่ยนจากการป้อนสัญญาณ “0” เข้าที่ขา RB7 เป็น RB4 แทน สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 4

หลอด LED ที่พอร์ต RA0 จะติดค้างอยู่สักครู่แทน

19.จากข้อ 6 เปลี่ยนขาจาก RB4 เป็นขา RB5 สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 6

หลอด LED ที่พอร์ต RA1 จะติดค้างอยู่สักครู่แทน

20.จากข้อ 6 เปลี่ยนขาจาก RB4 เป็นขา RB6 สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 4

หลอด LED ที่พอร์ต RA3 จะติดค้างอยู่สักครู่แทน

21.ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 3.2

22. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 3.4 ทำการแอสเซมเบลอร์

23. จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้ หลอด LED กระพริบ

24. เปลี่ยนรูปแบบการอินเตอร์รัพต์จากขอบขาขึ้นเป็นขอบขาลง โดยการกำหนดบิต 6 ของรีจีสเตอร์ OPTION เป็น “1” แล้วทำการทดลองอีกครั้ง

คำถามท้ายการทดลอง

5. บิตใดในรีจีสเตอร์ INTCON ที่อีนาเบิลการเกิดอินเตอร์รัพต์เนื่องจากบิต 4 ถึงบิต 7 ของพอร์ต B เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิก

บิต 3 : RBIE (Port B change interrupt enable bit)

6. การเลือกขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากภายนอกกระทำได้อย่างไร

เลือกได้ที่บิต 6 : INTEDG ของรีจีสเตอร์ OPTION

7. บิต GIE มีความสำคัญอย่างไรต่อการอินเตอร์รัพต์

เป็นบิตที่ใช้ควบคุมการ Enable อินเตอร์รัพต์ทั้งหมดที่มีในไมโครคอนโทรลเลอร์

8. จงเขียนโปรแกรมแสดงการอินเตอร์รัพต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่บิต 4 ถึง 7 ของพอร์ต B โดยเลื่อนการติดของ LED ทีละหลอดเมื่อเกิดการอินเตอร์รัพต์

```
            List p=16f876
            Include "p16f876.inc"
            __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC

            org     0x00
            goto    main
            org     0x04
            goto    isr

main        bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            movlw   0xff
            movwf   PORTB
            clrf    PORTC
            bcf     STATUS,RP0

            movlw   b'10001000'
            movwf   INTCON
            bcf     OPTION_REG,INTEDG
            clrf    PORTC

            bsf     PORTC,0
wait        goto    $

isr         bcf     STATUS,C
            rlf     PORTC,F
            btfsc   STATUS,C
            bsf     PORTC,0
            retfie

            end
```

รูปที่ 3.1 เฉลยโปรแกรมแสดงการอินเตอร์รัพต์เนื่องจากระดับลอจิกเปลี่ยนแปลง

ใบงานที่ 4
การใช้งานไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F876
(Timer/Counter)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถใช้งานไทเมอร์เคาน์เตอร์ใน PIC16F876 ได้
2. เพื่อให้สามารถใช้งานวอตช์ด็อกไทเมอร์ร่วมกับ TMR0 ได้
3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งานไทเมอร์เคาน์เตอร์ได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
3. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
4. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
5. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีไทเมอร์เคาน์เตอร์ 3 ตัว คือ TIMER0 ขนาด 8 บิต, TIMER1 ขนาด 16 บิต และ TIMER2 ขนาด 8 บิต ซึ่งภายในไทเมอร์เคาน์เตอร์จะประกอบไปด้วย รีจิสเตอร์ TMR0, TMR1, TMR2, ปรีสเกลเลอร์ (Prescaler) ขนาด 8 บิต และตัวนับหรือเคาน์เตอร์ โดยไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F876 สามารถทำงานได้ทั้งจากสัญญาณนาฬิกาภายในและภายนอก ทั้งยังสามารถเลือกให้ทำงานที่ขอบขาของสัญญาณทั้งขอบขาลงและขอบขาขึ้น

ภายในไทเมอร์เคาน์เตอร์จะมีการนับเฉพาะขอบขาขึ้นเท่านั้น เมื่อค่าจากการนับเกิดโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) คือค่าจากการนับเปลี่ยนจาก 0xff เป็น 0x00 จะทำให้เกิดการอินเตอร์รัพต์ขึ้น แต่ต้องขึ้นอยู่กับว่ามีการอีนาเบิลการอินเตอร์รัพต์แบบนี้ที่บิต TOIE ในรีจิสเตอร์ INCON หรือไม่

7	6	5	4	3	2	1	0
RBPU	INTEDG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0

บิต 7 : อีนาเบิลการพูลอัปที่พอร์ต B

0 = อีนาเบิล

1 = ดิสเอเบิล

บิต 6 : เลือกขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัพต์

0 = ขอบขาลง

1 = ขอบขาขึ้น

บิต 5 : เลือกแหล่งกำเนิดของสัญญาณนาฬิกาให้แก่ TMR0

0 = จากภายใน

1 = จากภายนอกผ่านทางขา TOCK1

บิต 4 : เลือกขอบขาของสัญญาณจากภายนอกสำหรับ TMR0

0 = ขอบขาขึ้น

1 = ขอบขาลง

บิต 3 : เลือกการทำงานของปรีสเกลเลอร์

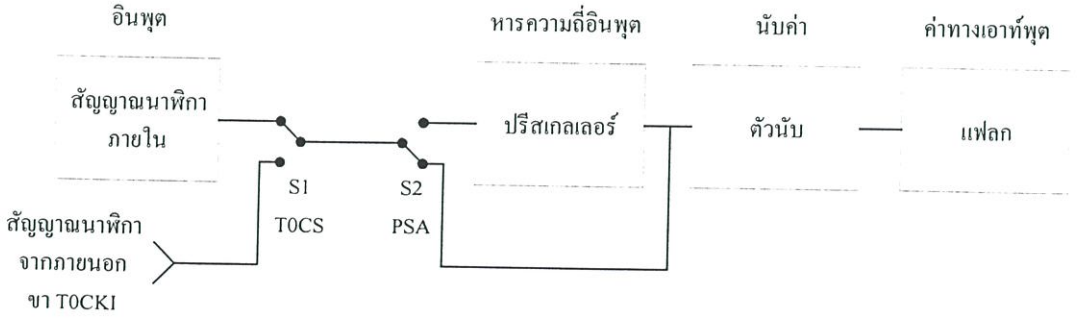
0 = ทำงานกับ TMR0

1 = ทำงานกับ WDT

บิต 2-0 : กำหนดค่าของปรีสเกลเลอร์

PS2	PS1	PS0	ตัวหาร
0	0	0	2
0	0	1	4
0	1	0	8
0	1	1	16
1	0	0	32
1	0	1	64
1	1	0	128
1	1	1	256

รูปที่ 4.1 ความหมายของบิตแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ OPTION



รูปที่ 4.2 แผนผังการทำงานของไทเมอร์เคาน์เตอร์ใน PIC 16F876

สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กระตุ้นให้ไทเมอร์เคาน์เตอร์ทำงานมาจาก 2 แหล่งคือ จากวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ดังรูปที่ 4.2 เมื่อสวิตช์ S1 ใช้เลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาก็คือ บิต TOCS ในรีจิสเตอร์ OPTION ส่วน S2 ใช้เลือกว่าต้องการให้สัญญาณผ่านการปรีสเกลเลอร์หรือไม่คือ บิต PSA นั่นเอง

การประยุกต์ใช้งาน

การใช้ TMR0 สร้างโปรแกรมหน่วงเวลาเพื่อสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม

การกำเนิดสัญญาณนาฬิกาสี่เหลี่ยมความถี่ 1 เมกะเฮิรตต์ สัญญาณลอจิกสูงจะปรากฏที่เอาต์พุตนานเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับการหน่วงเวลาให้เกิดสัญญาณลอจิกสูงค้างที่เอาต์พุต ซึ่งในที่นี้จะใช้ไทเมอร์เคาน์เตอร์มาทำหน้าที่นี้ จะเริ่มด้วยการเคลียร์ค่าวอตช์ด็อกไทเมอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ OPTION เพื่อกำหนดให้ปรีสเกลเลอร์ทำงานร่วมกับ TMR0 และเลือกที่จะใช้สัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายใน PIC16F876 เอง

กำหนดให้ปรีสเกลเลอร์มีอัตราการลดทอนความถี่เท่ากับ 128 นั่นคือ สัญญาณนาฬิกาภายในจะถูกหาร 128 ก่อนส่งเข้าสู่ตัวนับในไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F876 ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะสามารถคำนวณหาค่าความถี่ได้ดังนี้

ความถี่ = 1 / (ค่าของปรีสเกลเลอร์ × ค่าของ TMR0 × คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาภายใน × 2)

ถ้าค่าปรีสเกลเลอร์= 128, TMR0=4 และสัญญาณนาฬิกามีคาบเวลา 1 ไมโครวินาที ความถี่ที่ได้มีค่า 1024 เมกะเฮิรตต์

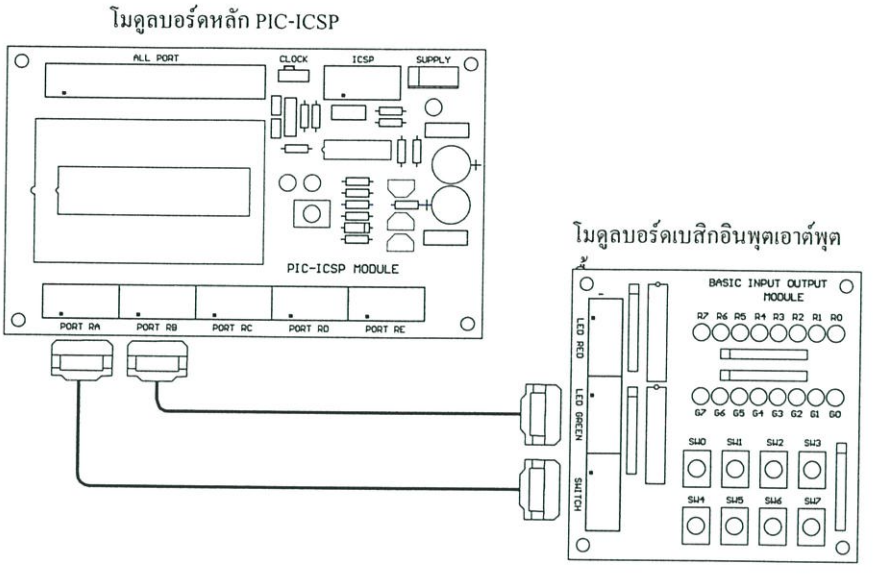
ไทเมอร์เคาน์เตอร์กับการอินเตอร์รัพต์

การกำเนิดสัญญาณนาฬิการูปสี่เหลี่ยมโดยใช้การอินเตอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นในไทเมอร์เคาน์เตอร์ เมื่อ TMR0 เกิดโอเวอร์โฟลว์ ทำให้เกิดสัญญาณนาฬิการูปสี่เหลี่ยมขึ้น

ไทเมอร์เคาน์เตอร์กับสัญญาณนาฬิกาภายนอก

การกำหนดให้ไทเมอร์เคาน์เตอร์นับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกนั้น เริ่มด้วยการกำหนดให้บิต 5 ของรีจิสเตอร์ OPTION เป็น “1” และเพื่อให้การนับถูกต้องจะต้องกำหนดขอบขาของสัญญาณโดยสามารถกำหนดได้ที่บิต 4 ของรีจิสเตอร์ OPTION

การกำหนดให้ไทเมอร์เคาน์เตอร์นับค่าของสัญญาณนาฬิกาภายนอก โดยกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาภายนอกเท่ากับ 1 เมกะเฮิรตต์ เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาครบ 8 ลูก LED ที่ต่ออยู่กับพอร์ต B จะเลื่อนไป 1บิต



รูปที่ 4.3 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP และโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

```
   list p=16f876
   include "p16f876.inc"
__config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC
CountDly    equ     0x20

            org     0x00
Initial     bsf     STATUS,RP0
            movlw   b'11010100'     ; prescale หาร 32
            movwf   OPTION_REG
            clrf    TRISB
            bcf     STATUS,RP0
            clrf    PORTB

Start       movlw   0xff
            xorwf   PORTB,F
            call    Delay1S
            goto    Start

Delay1S     movlw   .125            ; for 125 loop
            movwf   CountDly
Del0        clrf    TMR0
Del1        movlw   .125            ; for Timer0
            subwf   TMR0,W
            btfss   STATUS,Z
            goto    Del1
            decfsz  CountDly,F
            goto    Del0
            return
            end
```

รูปที่ 4.4 การใช้ TMR0 ไม่มีอินเตอร์รัพต์ ความถี่ 1 เฮิรตซ์

```
   list p=16f876
   include "p16f876.inc"
 __config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _XT_OSC
CountDly    equ     0x20

            org     0x00
            goto    Initial
            org     .4
            goto    IntRout
Initial     bsf     STATUS,RP0
            movlw   b'11010101'     ; หาร 64
            movwf   OPTION_REG
            clrf    TRISB
            bcf     STATUS,RP0
            clrf    CountDly

Main        movlw   b'10100000'
            movwf   INTCON
            movlw   0xff
            movwf   PORTB
            bsf     INTCON,T0IF
            goto    $

IntRout     bcf     INTCON,T0IF
            movlw   -.125           ; -.125 = 256-125
            movwf   TMR0
            incf    CountDly,F
            movlw   .125
            subwf   CountDly,W
            btfss   STATUS,Z
            retfie
            clrf    CountDly
            comf    PORTB,F
            retfie
            end
```

รูปที่ 4.5 การใช้ TMR0 มีอินเตอร์รัพต์ ความถี่ 0.5 เฮิรตซ์

```
   list p=16f876
   include "p16f876.inc"
 __config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC
CountDly    equ     0x20
            org     0x000
            goto    Initial
            org     0x04
            goto    IntServ
Initial     bsf     STATUS,RP0
            Clrwdt
            movlw   b'10100001'             ; หาร 4, ขอบขาลง
            movwf   OPTION_REG
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            movlw   0xff
            movwf   TRISA
            clrf    TRISB
            bcf     STATUS,RP0

Main        clrf    PORTB
            bsf     PORTB,0
            movlw   b'10100000'
            movwf   INTCON
            movlw   0xff
            movwf   TMR0                    ; TMR0 = -1
            bcf     STATUS,C
```

```
            goto    $
IntServ     bcf     INTCON,T0IF
            movlw   0xff
            movwf   TMR0
            rlf     PORTB,F
            retfie
            end
```

รูปที่ 4.6 การใช้ไทเมอร์เคาน์เตอร์กับสัญญาณนาฬิกาภายนอก

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.4 ทำการแอสเซมเบลอร์

2. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 4.3

3. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

4. จากโปรแกรมดังรูปที่ 4.4 ถ้าเราเปลี่ยนจาก movlw b'11010100' เป็น movlw b'11010110' ผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

5. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.5 ทำการแอสเซมเบลอร์

6. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 4.3

7. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

8. จากโปรแกรมดังรูปที่ 4.5 ถ้าเราเปลี่ยนจาก movlw b'11010101' เป็น movlw b'11010010' ผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

9. ถ้าต้องการสร้างสัญญาณที่ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ จะต้องกำหนด

ค่าของปรีสเกลเลอร์ = ...

TMR0 = ...

10. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.6 ทำการแอสเซมเบลอร์

11. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 4.3

12. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

13. สังเกตการทำงานของ LED เมื่อกดสวิตช์ที่พอร์ต RA4 / TOCKI = ...ครั้ง LED จึงจะเลื่อนบิตไป1 บิต

14. ถ้าต้องการเปลี่ยนค่าของปรีสเกลเลอร์เป็น 8 สังเกตการทำงานของ LED เป็นดังนี้

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีไทเมอร์เคาน์เตอร์กี่ตัว ขนาดกี่บิต อะไรบ้าง

2. จงอธิบายการทำงานของโปรแกรมรูปที่ 4.4-4.6

3. จงอธิบายการนำไทเมอร์เคาน์เตอร์ไปใช้งานได้อย่างไรบ้างและทำอย่างไร

4. จงอธิบายความหมายของปรีสเกลเลอร์พอเข้าใจ

5. จงเขียนโปรแกรมสร้างสัญญาณที่ความถี่ 100 เฮิรตซ์ โดยใช้ไทเมอร์เคาน์เตอร์กับสัญญาณนาฬิกาภายนอก

เฉลยใบงานที่ 4

การใช้งานไทเมอร์เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F87 (Timer/Counter)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

15.เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.4 ทำการแอสเซมเบลอร์

16.ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 4.3

17.เขียนข้อมูลลงบน PIC 16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้

LED จะติดเป็นเวลา 500 มิลลิวินาที และจะดับเป็นเวลา 500 มิลลิวินาที สลับกันไปเรื่อยๆ

18.จากโปรแกรมดังรูปที่ 4.4 ถ้าเราเปลี่ยนจาก movlw b'11010100' เป็น movlw b'11010110' ผลที่ได้เป็นดังนี้

LED จะติดเป็นเวลา 2 วินาที และจะดับเป็นเวลา 2 วินาที สลับกันไปเรื่อยๆ

19.เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.5 ทำการแอสเซมเบลอร์

20.ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 4.3

21.เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้

LED จะติดเป็นเวลา 1วินาที และจะดับเป็นเวลา 1 วินาที สลับกันไปเรื่อยๆ

22.จากโปรแกรมดังรูปที่ 4.5 ถ้าเราเปลี่ยนจาก movlw b'11010101' เป็น movlw b'11010010' ผลที่ได้เป็นดังนี้

LED จะติดเป็นเวลา 25 มิลลิวินาที และจะดับเป็นเวลา 25 มิลลิวินาที สลับกันไปเรื่อยๆ

23.ถ้าต้องการสร้างสัญญาณที่ความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ จะต้องกำหนด

ค่าของปรีสเกลเลอร์ = หาร 2

TMR0 = 250

24. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 4.4 ทำการแอสเซมเบลอร์

25. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 4.3

26. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN ผลที่ได้เป็นดังนี้

จะรอการกดสวิตช์ 4 ครั้งจึงจะมีการเลื่อนบิตไปทางซ้าย

27. สังเกตการทำงานของ LED

เมื่อกดสวิตช์ที่พอร์ต RA4/TOCKI = 4 ครั้ง LED จึงจะเลื่อนบิตไป1 บิต

28. ถ้าต้องการเปลี่ยนค่าของปรีสเกลเลอร์เป็น 8 สังเกตการทำงานของ LED เป็นดังนี้

จะรอการกดสวิตช์ถึง 8 ครั้งจึงจะมีการเลื่อนบิตไปทางซ้าย

คำถามท้ายการทดลอง

1. ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีไทเมอร์เคาน์เตอร์กี่ตัว ขนาดกี่บิต อะไรบ้าง

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีไทเมอร์เคาน์เตอร์ 3 ตัวคือ ไทเมอร์ 0 มีขนาด 8 บิต, ไทเมอร์ 1 มีขนาด 16 บิต และไทเมอร์ 2 มีขนาด 8 บิต

2. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 4.4-4.6

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 4.4 คือ กำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุตแสดงไฟกระพริบติด-ดับสลับกันและกำหนดค่าปรีสเกลเลอร์เท่ากับ 32 ซึ่งการหน่วงเวลานั้นจะใช้ไทเมอร์ 0 สามารถคำนวณความถี่ได้ 1 เฮิรตซ์

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 4.5 คือ กำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุตแสดงไฟกระพริบติด-ดับสลับกันและกำหนดค่าปรีสเกลเลอร์เท่ากับ 64 ซึ่งการหน่วงเวลานั้นจะใช้ไทเมอร์ 0 สามารถคำนวณความถี่ได้ 0.5 เฮิรตซ์

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 4.6 คือ กำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุตแสดงไฟกระพริบติด-ดับสลับกันและกำหนดค่าปรีสเกลเลอร์เท่ากับ 4 ขอบขาลง ซึ่งการหน่วงเวลานั้นจะใช้ไทเมอร์เคาน์เตอร์กับสัญญาณนาฬิกาภายนอกและใช้การอินเตอร์รัพต์ สามารถคำนวณความถี่ได้ 0.5 เฮิรตซ์

3. จงอธิบายการนำไทเมอร์เคาน์เตอร์ไปใช้งานได้อย่างไรบ้างและทำอย่างไร

การใช้ไทเมอร์ 0 สร้างโปรแกรมหน่วงเวลาเพื่อสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณลอจิกสูงจะปรากฏที่เอาต์พุตนานเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับการหน่วงเวลาให้เกิดสัญญาณลอจิกสูงค้างที่เอาต์พุต จากนั้นเขียนข้อมูลลงในรีจีสเตอร์ OPTION เพื่อกำหนดให้ปรีสเกลเลอร์ทำงานร่วมกับ TMR0 และเลือกที่จะใช้สัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายใน PIC16F876 เอง

ใบงานที่ 5
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถใช้งาน LCD แบบตัวอักษรหรือแบบอักขระได้
2. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมให้ PIC16F876 แสดงผลออกทาง LCD แบบตัวอักษรหรือแบบอักขระได้
3. เพื่อให้สามารถใช้งาน LCD ในโหมด 4 บิตและ 8 บิตได้

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)
3. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
4. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
5. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

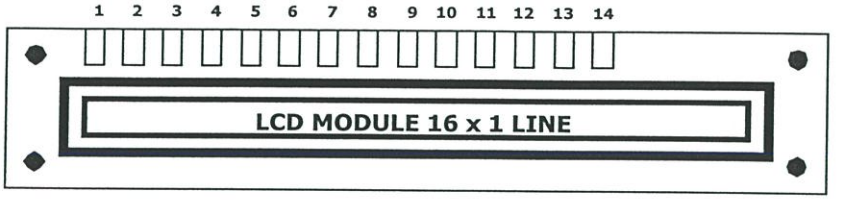
ทฤษฎีเบื้องต้น

จอแสดงผลแบบผลึกเหลวหรือ LCD (Liquid Crystal Display) แบ่งออกเป็น 3 แบบตามลักษณะการแสดงผลคือ LCD แบบอักขระ (Character LCD Module) LCD แบบกราฟฟิก (Graphic LCD Module) และ LCD แบบเซกเมนต์ (Segment LCD Module)

LCD แบบอักขระเป็น LCD ที่สามารถแสดงตัวอักษร ตัวเลขและเครื่องหมายต่างๆได้โดยสร้างจากจุดเล็กๆ ทางแนวตั้งและแนวนอนหรือ dot matrix โดยทั่วไปจะมี 2 ขนาดคือ 5 x 7 จุดและ 5 x 10 จุด

LCD แบบกราฟฟิกมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับ LCD แบบอักขระ สามารถแสดงข้อมูลเป็นทั้งแบบตัวอักขระ ตัวเลข เครื่องหมายและรูปภาพได้ ความละเอียดของภาพก็จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของ dot matrix ของ LCD ตัวนั้นๆ ของขนาด LCD แบบนี้มีอยู่หลายขนาดให้เลือกใช้

LCD แบบเซกเมนต์ (Segment) เป็นแบบเล็กสุดมีลักษณะการแสดงผลเป็นเซกเมนต์คล้ายกับ LED ตัวเลข 7 ส่วนโดยปกติมักจะมีมากกว่า 1 หลัก



รูปที่ 5.1 รูปร่างและการจัดขาของจอแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบอักขระ

LCD ขนาด 24 ตัวอักษรจำนวน 2 บรรทัด (LCD 24 x 2)

LCD ที่เราใช้ในการทดลองนี้เป็น LCD อีกตัวที่มีโครงสร้างเป็นมาตรฐานมีขาที่ต่อใช้งาน 14 ขา มีการจัดขาดังรูปที่ 5.1 รายละเอียดของแต่ละขามีดังนี้

Vss (ขา 1) = ต่อกราวด์

Vcc (ขา 2) = ต่อไฟเลี้ยง 5 โวลต์

Vo (ขา 3) = เป็นขาอินพุต รับแรงดันเพื่อรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) = เป็นขาอินพุต ใช้ในการรับชนิดของข้อมูล ถ้าขานี้เป็น "0" ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่งแต่ถ้าเป็น "1" ข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลสำหรับแสดงผล

R/W (ขา 5) = เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ LCD ถ้าเป็น "0" เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูลแต่ถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6) = เป็นอินาเบิล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา 7-14) = เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์

ขา R/W, RS และขา E จะใช้งานร่วมกันดังตารางการทำงานที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของการทำงานร่วมกันของขา RS, R/W และ E

RS	R/W	E	การทำงาน
0	0		เขียนคำสั่ง
0	1		อ่านสถานะของ LCD
1	0		เขียนข้อมูล
1	1		อ่านข้อมูล

คำสั่งควบคุม LCD

การเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม จะต้องกำหนดให้ RS, R/W และขา E จะต้องเป็น "0" แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งในการควบคุมมี 10 คำสั่งดังนี้

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (Clear display) มีข้อมูลเป็นคำสั่ง 0x01 เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเขียนข้อมูลช่องว่างหรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซิคิ้วต์คำสั่งนี้จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น "1"

2. คำสั่ง Return Home ต้องกำหนดให้บิต "1" ของข้อมูลเป็น "1" เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนตัวแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลงนั่นคือข้อมูลของคำสั่งนี้จะเป็น 0x02 หรือ 0x03 ก็ได้

3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนกลับ (Entry mode set) มีรายละเอียดดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**	**I/D**	**S**

รูปที่ 5.2 คำสั่งเลือกโหมดการป้อนกลับ

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผลเมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น "1" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น "0" เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดว่าเมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว ทำให้แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรสโดยถ้าบิตนี้เป็น "1" แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น "0" แอเดรสจะลดลง

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล มีรายละเอียดดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	**0**	**0**	**0**	**1**	**D**	**C**	**B**

รูปที่ 5.3 คำสั่งควบคุมการแสดงผล

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1” ถ้ากำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการเปิดเคอร์เซอร์หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ถ้าบิตเป็น “1” เคอร์เซอร์จะกระพริบ

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร มีรายละเอียดดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	**0**	**0**	**1**	**S/C**	**R/L**	*	*

รูปที่ 5.4 การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผล ขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2 การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อนเคอร์เซอร์	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	ไปทางซ้าย	0x10-0x13
0	1	ไปทางขวา	0x14-0x17
1	0	ตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	0x18-0x1B
1	1	ตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	0x1C-0xF

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	**0**	**1**	**DL**	**N**	**F**	*	*

รูปที่ 5.5 การกำหนดฟังก์ชั่นการทำงาน

คำสั่งกำหนดฟังก์ชั่นการทำงาน ดังรูปที่ 5.5 มีรายละเอียดดังนี้

- บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูลถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการติดต่อแบบ 8 บิต

- บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดง 2 บรรทัด หรือในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงได้มากกว่า 2 บรรทัด

- บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรในการแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น “1” จะแสดงผลเป็นแบบ 5x10 จุด

6. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ก่อนที่จะเขียนหรืออ่านข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสจะอยู่ระหว่าง 0x00-0x3F

7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลโดยบิต 7 ต้องเป็น “1” และข้อมูลบิต 7 ที่เหลือ เป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสจะอยู่ระหว่าง 0x8C-0xFF นอกจากนี้จำนวนแอดเดรสยังขึ้นอยู่กับการกำหนดสถานะที่บิต N หากบิต N เป็น “0” แอดเดรสจะอยู่ระหว่าง 0x80-0xCF และถ้าบิต N เป็น “1” แอดเดรสจะมี 2 ช่วงคือ 0x8C-0x87 และ 0xC0-0xC7

8. คำสั่งอ่าน Busy และแอดเดรส มีรายละเอียดดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
BF	**A**	**A**	**A**	**A**	**A**	**A**	**A**

รูปที่ 5.6 การอ่าน Busy และแอดเดรส

จะเป็นแฟลกบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น “0” แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมจะรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” แสดงว่าตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายในหรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่ง

เมื่อต้องการอ่านแฟลกต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ด้วย แต่สัญญาณที่ RS ยังต้องเป็น “0” อยู่เพราะข้อมูลนี้ยังเป็นข้อมูลคำสั่ง

จังหวะการทำงานของ LCD

การใช้งาน LCD ต้องเขียนโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลาให้ LCD พร้อมที่จะทำงาน โดยเมื่อเริ่มจ่ายแรงดันให้กับ LCD ต้องรอ 5 มิลลิวินาที เพื่อให้ LCD เตรียมความพร้อมหรือ Initial หลังจากนั้นจะต้องกำหนดลอจิกขา RS ของ LCD แล้วต้องหน่วงเป็นเวลาประมาณ 125 ไมโครวินาที เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใน LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่าข้อมูลต่อไปที่ได้รับเป็นรหัสคำสั่งหรือข้อมูลที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่ออินาเบิล LCD ให้รับข้อมูลจากบัส (Bus) ข้อมูลเข้าไปโดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของ LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้นจากนั้นทำการหน่วงเวลา 125 ไมโครวินาที

```
Delay5mS    movlw    0x29          ; 40
            movwf    COUNT2
Delay       call     Dealay125uS
            decfsz   COUNT2,F      ; 40 times=5mS
            goto     Delay
            return
```

รูปที่ 5.7 ตัวอย่างโปรแกรมหน่วงเวลา 5 มิลลิวินาที

```
Pulse       bsf      PORTA,E       ; pulse E line
            Nop
            bcf      PORTA,E
            call     Delay125uS    ; Delay 125 uS
            return
```

รูปที่ 5.8 ตัวอย่างโปรแกรมการส่งสัญญาณพัลส์

```
Delay125mS  movlw    0x2a          ; 42x3 cycle
            movwf    COUNT1
Delay       decfsz   COUNT1,F      ; 40 times=5mS
            goto     Repeat        ; not 0
            return
```

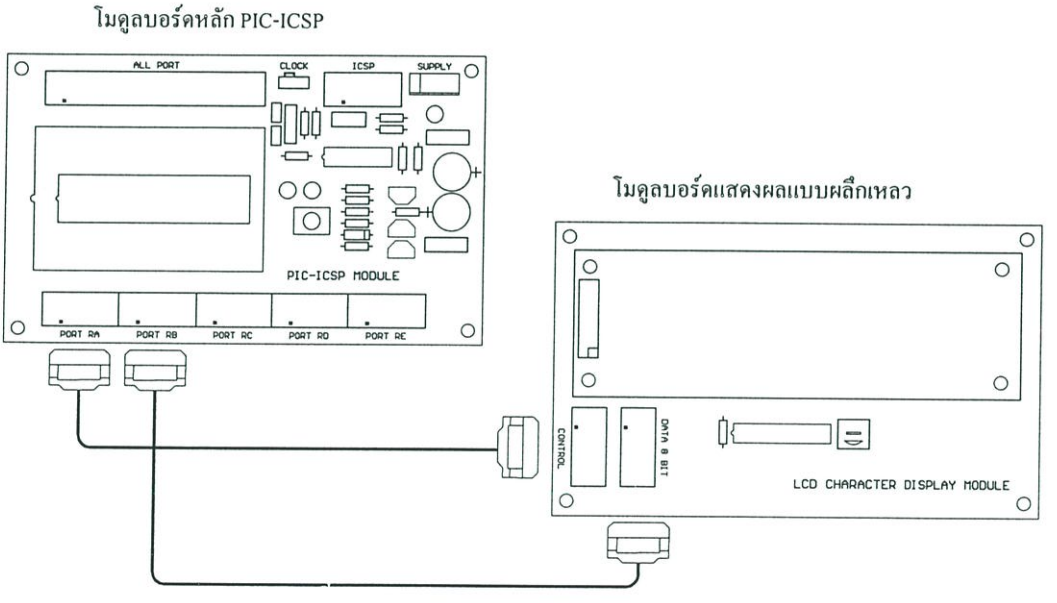
รูปที่ 5.9 ตัวอย่างโปรแกรมหน่วงเวลา 125 ไมโครวินาที

การต่อ PIC 16F876 กับ LCD

การต่อ PIC 16F876 กับ LCD แบบอักขระ 8 บิต เราจะกำหนดให้พอร์ต A เป็นขาของการควบคุม โดย RA1 ต่ออยู่กับขา E, RA2 ต่ออยู่กับขา RS และ RA3 ต่ออยู่ กับ R/W ส่วนพอร์ต B จะต่ออยู่กับขาข้อมูล D0-D7 ทั้ง 8 เส้น

การใช้งาน LCD แบบ 4 บิต

การต่อขาใช้งาน LCD แบบ 4 บิตนั้นที่ขาข้อมูลเราจะใช้เพียง 4 บิตบนเท่านั้น ส่วนการโปรแกรม ถ้าทำงานในแบบ 8 บิตเมื่อป้อนข้อมูลให้ LCD แล้วต้องป้อนสัญญาณพัลส์ให้แก่ขา E แล้วตามด้วยการหน่วงเวลา 125 ไมโครวินาที แต่ถ้าทำงานแบบ 4 บิตต้องแยกส่งข้อมูลทีละ 4 บิต โดยเริ่มจากส่งข้อมูล 4 บิตบนก่อนและส่งสัญญาณพัลส์ที่ขา E จากนั้นจึงส่งข้อมูล 4 บิตล่างและส่งสัญญาณพัลส์ที่ขา E ตามด้วยการหน่วงเวลา 125 ไมโครวินาที



รูปที่ 5.10 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับโมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว

```
            list p=16f876
            #include "p16f876.inc"
            __config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC
Reg1        equ     0x20
Cnt1        equ     0x21
Cnt2        equ     0x22
Count1      equ     0x23
Count2      equ     0x24
Count3      equ     0x25
E           equ     0               ; บรรทัดที่ 10
RS          equ     1
RW          equ     2
LCD_Con     equ     PORTA
```

```
LCD_Data    equ     PORTB

            org     0x00
Initial     bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            clrf    TRISA           ; บรรทัดที่ 20
            clrf    TRISB
            bcf     STATUS,RP0
            clrf    LCD_Con
            clrf    LCD_Data
;_____________________________________________
Start       call    Delay1
            call    InitialLCD
            call    TitleText
            call    Delay3
            goto    Start           ; บรรทัดที่ 30
;_____________________________________________
InitialLCD  clrf    LCD_Con
            clrf    Reg1
IniLCD1     movf    Reg1,W
            call    Table1
            andlw   0xff
            btfsc   STATUS,Z
            return
            movwf   LCD_Data
            call    Pulse           ; บรรทัดที่ 40
            incf    Reg1,F
            goto    IniLCD1
Table1      addwf   PCL,F
            dt      38, 0c, 06, 01, 00
;_____________________________________________
TitleText   call    Delay1
            call    ClrScreen
            clrf    Reg1
            bsf     LCD_Con,RS      ; บรรทัดที่ 50
            call    Dlay5ms
TT1         movf    Reg1,W
            call    Table2
            andlw   0xff
            btfsc   STATUS,Z
            goto    TT2
            movwf   LCD_Data
            call    Pulse
            call    Delay2          ; บรรทัดที่ 60
            incf    Reg1,F
            goto    TT1
TT2         bcf     LCD_Con,RS
            call    Dlay5ms
            movlw   0xc0
            movwf   LCD_Data
            call    Pulse
            call    Delay1
            clrf    Reg1            ; บรรทัดที่ 70
            bsf     LCD_Con,RS
            call    Dlay5ms
TT3         movf    Reg1,W
            call    Table3
            andlw   0xff
            btfsc   STATUS,Z
            goto    TT4
            movwf   LCD_Data
            call    Pulse           ; บรรทัดที่ 80
            call    Delay2
            incf    Reg1,F
            goto    TT3
TT4         clrf    LCD_Con
            clrf    LCD_Data
            return

Table2      addwf   PCL,F
```

```
                dt      "PIC 16F8XX Projects", 00     ; บรรทัดที่ 90
Table3          addwf   PCL,F
                dt      "ELECTRONICS & COMPUTERS", 00
;_____________________________________________
ClrScreen       clrf    LCD_Con
                call    Dlay125us
                movlw   0x01
                movwf   LCD_Data
                call    Pulse
                return
;_____________________________________________
Pulse           bsf     LCD_Con,E       ; บรรทัดที่ 100
                Call    Dlay125us
                bcf     LCD_Con,E
                call    Dlay125us
                return
;_____________________________________________
Dlay125us       movlw   0x2a
                Movwf   Cnt1
Dlay1           decfsz  Cnt1,F
                goto    Dlay1           ; บรรทัดที่ 110
                return
;_____________________________________________
Dlay5ms         movlw   0x29
                Movwf   Cnt2
Dlay2           call    Dlay125us
                Decfsz  Cnt2,F
                Goto    Dlay2
                Return
;_____________________________________________
Delay1          movlw   0xff            ; บรรทัดที่ 120
                movwf   Count1
Dely1           decfsz  Count1,F
                Goto    Dely1
                Return

Delay2          movlw   0xa0
                Movwf   Count2
Dely2           call    Delay1
                Decfsz  Count2,F
                goto    Dely2           ; บรรทัดที่ 130
                return

Delay3          movlw   0x05
                Movwf   Count3
Dely3           call    Delay2
                Decfsz  Count3,F
                Goto    Dely3
                Return
                end                     ; บรรทัดที่ 140
```

รูปที่ 5.11 โปรแกรมการแสดงผลของ LCD แบบ 8 บิต

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมรูปที่ 5.11 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 5.10
3. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN

4. ผลการทำงานของ LCD เป็นดังนี้

.....

.....

5. จากโปรแกรมดังรูปที่ 5.11 ถ้าเปลี่ยนการแสดงข้อความเป็น KMITL ทั้ง 2 บรรทัดจะต้องแก้ไขโปรแกรมอย่างไร

.....

.....

.....

.....

6. จากการทดลองข้อ 5 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 อีกครั้ง

7. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN

8. ผลการทำงานของ LCD เป็นดังนี้

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 5.11

2. จงเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมให้ LCD แสดงข้อความเป็นชื่อของตัวเอง โดยเลื่อนจากซ้ายไปขวาเมื่อครบให้เลื่อนจากขวาไปซ้ายกลับกันโดยใช้ LCD แบบ 4 บิต

3. จงเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมให้ LCD แสดงข้อความ “Test LCD” โดยเลื่อนจากขวาไปซ้ายเมื่อครบแล้วให้แสดงเคอร์เซอร์กระพริบรอที่ท้ายประโยค โดยใช้ LCD แบบ 8 บิต

เฉลยใบงานที่ 5

การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับจอแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

9. เขียนโปรแกรมที่ 10.1 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
10. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 5.10
11. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
12. ผลการทำงานของ LCD เป็นดังนี้

จะแสดงข้อความ " PIC 16F8XX Projects"

"ELECTRONICS & COMPUTERS"

13. จากโปรแกรมดังรูปที่ 5.11 ถ้าเปลี่ยนการแสดงข้อความเป็น KMITL ทั้ง 2 บรรทัดจะต้องแก้ไขโปรแกรมอย่างไร

ในบรรทัดที่ 75 เปลี่ยนเป็น call Table2

ในบรรทัดที่ 90 เปลี่ยนเป็น dt "KMITL"

ลบบรรทัดที่ 91-92

14. จากการทดลองข้อ 5 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 อีกครั้ง
15. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
16. ผลการทำงานของ LCD เป็นดังนี้

แสดงข้อความ "KMITL ทั้ง 2 บรรทัด

คำถามท้ายการทดลอง

4. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 5.11

โปรแกรมแสดงข้อความบน LCD จะทำโดยการส่งข้อมูลตัวอักษรไปแสดงผลที่ละตัวอักษรแล้วทำการหน่วงเวลาเพื่อให้เห็นการติดทีละตัวอักษรของข้อความ แล้วส่งอักษรต่อไปเรื่อยๆ จนหมดข้อความ แล้วเคลีย LCD เพื่อเริ่มต้นแสดงใหม่อีกครั้ง

5. จงเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมให้ LCD แสดงข้อความเป็นชื่อของตัวเอง

ทำได้โดยการเปลี่ยนข้อความในตาราง ให้เป็นข้อความชื่อตามที่ต้องการ แล้วจบด้วยอักขระ 0x00 เพื่อบอกให้รู้ว่าหมดข้อความแล้ว ให้เริ่มต้นใหม่

ใบงานที่ 6
การใช้งาน PIC16F876 ขับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถใช้ PIC16F876 นำข้อมูลออกไปแสดงผลที่แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนได้
2. เพื่อให้สามารถใช้งานแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน ทั้งในลักษณะแสดงผลแบบหลักเดี่ยวและแบบหลายหลักหรือมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ได้
3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลบนแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน ทั้งในลักษณะแสดงผลแบบหลักเดี่ยวและแบบมัลติเพล็กซ์ได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

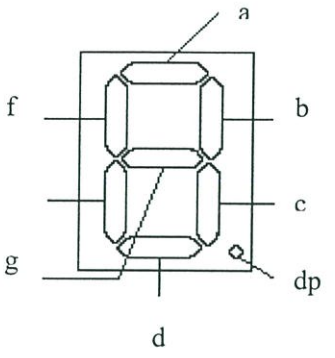
1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน
3. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
4. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
5. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

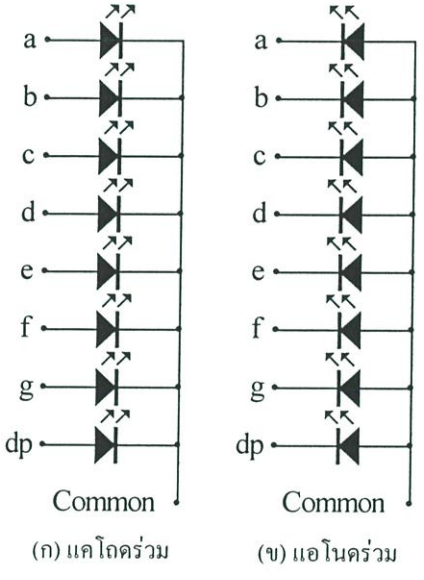
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน

การแสดงผลที่เป็นแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน (LED 7 Segment) แต่ละส่วนหรือเซกเมนต์มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามตำแหน่งที่ได้รับการจัดวาง คือ a, b, c, d, e, f และ g ดังรูปที่ 6.1 ส่วน db เป็นแอลอีดีอีก 1 ใช้แสดงตัวเลขที่มีจุดทศนิยม

แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนนี้มีทั้งแบบคาโถดร่วม (common cathode) และแบบอาโนดร่วม (common anode) การขับให้แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน แบบคาโถดร่วมสว่างจะต้องจ่ายไฟลบเข้าที่ขาร่วม แล้วจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาอาโนด ซึ่งก็คือขาของแต่ละเซกเมนต์นั่นเองดังรูปที่ 6.2 ก.ในขณะที่แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแบบอาโนดร่วมจะต้องจ่ายไฟบวกเข้าที่ขาร่วมแล้วจ่ายไฟลบเข้าที่ขาคาโถด ซึ่งเป็นขาของแต่ละเซกเมนต์ ดังรูปที่ 6.2 ข.



รูปที่ 6.1 รูปร่างและการกำหนดชื่อเซกเมนต์ต่างๆของแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน



รูปที่ 6.2 วงจรภายในของแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนทั้งแบบคาโถดร่วมและอาโนดร่วม

การขับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแบบหลักเดียว

การกำหนดให้แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแสดงข้อมูลเป็นตัวเลขหรือสัญลักษณ์ใดๆ ก็ตาม ต้องมีการกำหนดรูปแบบการแสดงผลของเซกเมนต์ต่างๆ ด้วยข้อมูลแต่ละบิตของไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วใช้วิธีการเปิดตารางข้อมูลของการแสดงผลตัวเลขฐานสิบหกของแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน ในตารางที่ 6.1 ซึ่งเป็นตารางข้อมูลของแสดงผลของแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแบบคาโถดร่วม แต่ถ้าต้องการข้อมูลที่ใช้กับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแบบอาโนดร่วมก็จะต้องเป็นข้อมูลเลขตรงข้ามกับแบบคาโถด

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลของการแสดงผลตัวเลข 0-F ของแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแบบคาโถดร่วม

ข้อมูลดิจิตอลเอาต์พุตสำหรับขับตัวเลข 7ส่วน								ค่าเลขฐานสิบหกที่ใช้กับ PIC16F876	ค่าตัวเลขที่แสดงที่ 7 เซกเมนต์
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
0	0	1	1	1	1	1	1	0x3F	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0x06	1
0	1	0	1	1	0	1	1	0x5B	2
0	1	0	0	1	1	1	1	0x4F	3
0	1	1	0	0	1	1	0	0x66	4
0	1	1	0	1	1	0	1	0x6D	5
0	1	1	1	1	1	0	1	0x7D	6
0	0	0	0	0	1	1	1	0x07	7
0	1	1	1	1	1	1	1	0x7F	8
0	1	1	0	1	1	1	1	0x6F	9
0	1	1	1	0	1	1	1	0x77	A
0	1	1	1	1	1	0	0	0x7C	b
0	0	1	1	1	0	0	1	0x39	C
0	1	0	1	1	1	1	0	0x5E	d
0	1	1	1	1	0	0	1	0x79	E
0	1	1	1	0	0	0	1	0x71	F
1	1	1	1	1	1	1	1	0xFF	8.

การขับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน แบบมัลติเพล็กซ์

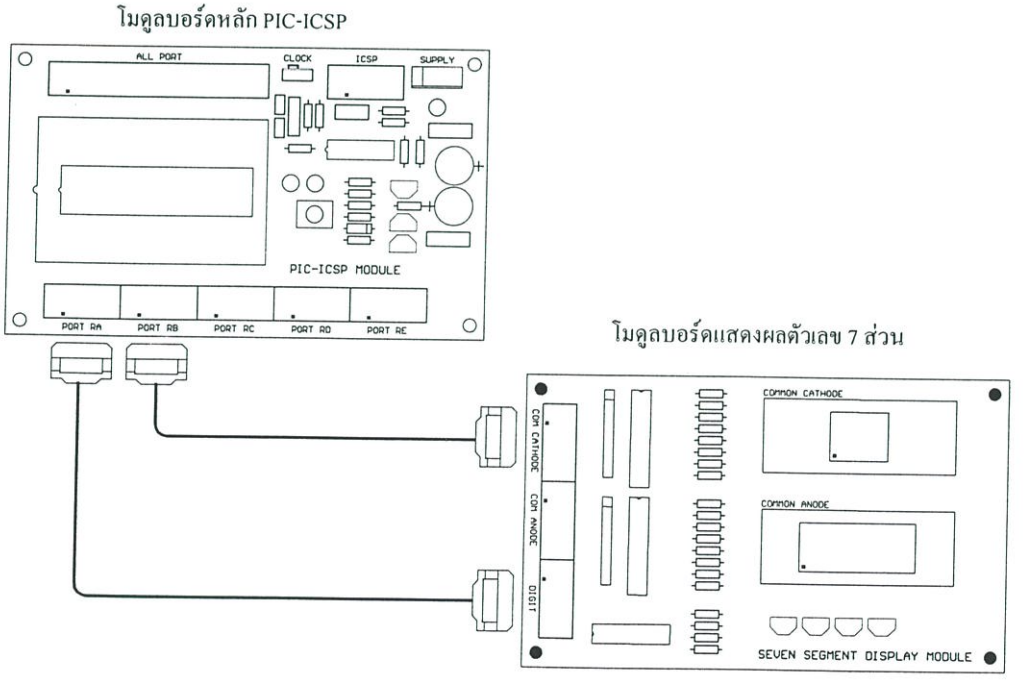
ถ้าเราต้องการให้ PIC16F876 ขับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนได้มากกว่า 1 หลัก จะต้องใช้เทคนิคการแสดงผลที่เรียกว่า การแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์อันเป็นวิธีการขับให้แอลอีดีสว่างทีละหลักด้วยอัตราเร็วที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถตรวจจับได้ทัน จึงเหมือนว่าแอลอีดีทุกหลักติดสว่างในเวลาเดียวกัน

ประโยชน์ของการแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์นี้มีหลายประการดังนี้

1. ช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ทำให้ขนาดของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเล็กลง
2. ช่วยประหยัดพอร์ตในการขับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนหลายๆ หลัก
3. ลดจำนวนตัวต้านทานที่ใช้ในการจำกัดกระแสของแอลอีดี

การขับแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์จะทำการต่อขาของแต่ละเซกเมนต์ร่วมกันคือ เซกเมนต์ a ของทุกหลักจะต่อถึงกันไล่เรียงกันไปจนถึงเซกเมนต์ db การควบคุมให้หลักใดติดสว่าง ทำได้โดยการจ่ายไฟเข้าที่ขาร่วมของตัวเลข 7 ส่วนหลักนั้นๆ เช่น ถ้าตัวเลข 7 ส่วนที่ใช้เป็นแบบคาโถดร่วม หากต้องการให้หลักที่ 3 ติดสว่างก็ให้ต่อขาร่วมของหลักที่ 3 ลงกราวด์หรือจ่ายไฟลบให้ แล้วส่งข้อมูลที่ต้องการให้ติดเข้ามาทางเซกเมนต์ แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนหลักที่ 3 ก็จะติดสว่างตามข้อมูลที่ต้องการ

กระบวนการเริ่มต้นโดย PIC16F876 ส่งข้อมูลออกไปยังขาพอร์ตที่ต่ออยู่กับเซกเมนต์ a-g และ db (ในกรณีที่ต้องการใช้ขา db) ของแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนก่อน จากนั้นจึงส่งข้อมูล "0" ไปยังขาร่วมของแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนในหลักที่ต้องการให้แสดงผล เช่นถ้าต้องการแสดงตัวเลข 1234 ต้องส่งข้อมูลของเลข 1 ไปก่อนแล้วจึงส่ง "0" ไปยังขาร่วมของหลักที่ 4 จากนั้นจึงส่งข้อมูลเลข 2 แล้วส่ง "0" ไปยังขาร่วมของหลักที่ 3 ทยอยไล่ไปตามลำดับด้วยความเร็วสูง ในอัตราที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ภาพที่เห็นจึงกลายเป็นตัวเลข 1234 ติดพร้อมกันทุดหลัก จะเห็นได้ว่าด้วยกระบวนการนี้แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนจะทำงานไม่พร้อมกัน การกินกระแสไฟฟ้าจึงมีค่าสูงสุดเท่ากับแอลอีดีทุกเซกเมนต์ในหนึ่งหลักติดสว่างพร้อมกันเท่านั้น



รูปที่ 6.3 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP และโมดูลบอร์ดแสดงตัวเลข 7 ส่วน

```
            List p=16f876
            #include "p16f876.inc"
            __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
COUNT1      equ     0x20
COUNT2      equ     0x21
REG1        equ     0x23

            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            clrf    PORTA
            clrf    PORTB
            bcf     STATUS,RP0
            bcf     STATUS,C
            clrf    PORTB
ClrReg      clrf    REG1
Loop        movf    REG1,W
            call    Table1
            bcf     STATUS,Z
            andlw   0xFF
            btfsc   STATUS,Z
            goto    ClrReg1
            movwf   PORTB
            movlw   0x00
            movwf   PORTA
            call    Delay
            incf    REG1,F
            goto    Loop

;-------------------------------------------- TABLE DATA
Table2      addwf   PCL,F
            dt      3f,06,5b,4f,66,6d,7d,07,7f,6f,00

;-------------------------------------------- DELAY TIME
Delay       movlw   0x20
            Movwf   COUNT1
Delay1      movlw   0xff
            Movwf   COUNT2
Delay2      decfsz  COUNT2,1
            Goto    Delay2
            decfsz  COUNT1,1
            goto    Delay1
            return
            end
```

รูปที่ 6.4 โปรแกรมแสดงผลแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนหลักเดียว

```
1           List p=16f876
2
3           include "p16f876.inc"
4           __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
5 COUNT1    equ     0x20
6 COUNT2    equ     0x21
7
8           org     0x00
9           bsf     STATUS,RP0
10          clrf    PORTA
11          clrf    PORTB
12          bcf     STATUS,RP0
13          bcf     STATUS,C
14          clrf    PORTB
15
16          movlw   0x66
17          movwf   PORTB
18          movlw   0x00
```

```
19          movwf    PORTA
20          call     Delay
21
22          movlw    0x4f
23          movwf    PORTB
24          movlw    0x01
25          movwf    PORTA
26          call     Delay
27
28          movlw    0x5b
29          movwf    PORTB
30          movlw    0x02
31          movwf    PORTA
32          call     Delay
33
34          movlw    0x06
35          movwf    PORTB
36          movlw    0x03
37          movwf    PORTA
38          call     Delay
39;-------------------------------- DELAY TIME
40 Delay    movlw    0x20
41          movwf    COUNT1
42 Delay1   movlw    0xff
43          movwf    COUNT2
44 Delay2   decfsz   COUNT2,1
45          goto     Delay2
46          decfsz   COUNT1,1
47          goto     Delay1
48          return
49
50          end
```

รูปที่ 6.5 โปรแกรมแสดงผลแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนหลายหลัก

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 6.3
2. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 6.4 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
3. ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยคลิกปุ่ม RUN สังเกตผลที่เกิดขึ้น

.....

.....

4. ถ้าเปลี่ยนข้อมูลในโปรแกรมเป็น dt 6f , 7f , 07 , 7d , 6d , 66 , 4f , 5b , 06 , 3f , 00 จากนั้นทำเหมือนขั้นตอนที่ 2 –3 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

.....

.....

5. จากโปรแกรมดังรูปที่ 6.4 เปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0x00 มาเป็น movlw 0x01 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

.....

.....

6. จากข้อ 5 ถ้าต้องการให้หลักที่ 4 ติด (หลักแรกซ้ายมือ) จะต้องเปลี่ยนข้อมูลเป็นเท่าไร

.....

.....

7. จากโปรแกรมดังรูปที่ 6.4 เปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0x00 มาเป็น movlw 0x04 และเปลี่ยนข้อมูลจาก dt 3f,06,5b,4f,66,6d,7d,07,7f,6f,00 มาเป็น dt b0,f9,a4,cf,99,92,82,f8,80,90,00

.....

.....

8. ทำเหมือนขั้นตอนที่ 2 –3 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

.....

.....

9. จากข้อ 8 ถ้าเปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0x04 มาเป็น movlw 0x05 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

.....

.....

10. จากข้อ 9 ถ้าต้องการให้หลักที่ 4 ติด (หลักแรกซ้ายมือ) จะต้องเปลี่ยนข้อมูลเป็นเท่าไร

.....

.....

11. เขียนโปรแกรมที่ 6.5 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876

12. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 6.3

13. ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN สังเกตผลที่เกิดขึ้น

.....

.....

14. ในบรรทัดที่ 16 ถ้าต้องการเปลี่ยนข้อมูลเป็น 0x77 และในบรรทัดที่ 34 เป็น 0xFF สังเกตผลที่เกิดขึ้น

.....

.....

15. จากโปรแกรมที่ 11.5 ถ้าต้องการให้แสดงผลแบบอาโนดร่วมต้องแก้ไขโปรแกรมอย่างไรบ้าง

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความแตกต่างระหว่าง แอลอีดีตัวเลข 7 ส่วนแบบคาโถดร่วมและแบบอาโนดร่วม

2. จงเขียนโปรแกรมนับเลข 0000-9999 โดยให้แสดงผลในแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน แบบอาโนดร่วม

เฉลยใบงานที่ 6

การใช้งาน PIC16F876 ขับ LED ตัวเลข 7 ส่วน

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

16. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 6.3

17. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 6.4 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876

18. ทำการรันโปรแกรมบน PIC 16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต สังเกตผลที่เกิดขึ้น

จะเป็นการนับเลข 0-9 ที่หลักแรกของ LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบคาโถดร่วม

19. ถ้าเปลี่ยนข้อมูลในโปรแกรมเป็น dt 6f, 7f, 07, 7d, 6d, 66, 4f, 5b, 06, 3f, 00 จากนั้นทำเหมือนขั้นตอนที่ 2 –3 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

จะเป็นการนับเลข 9-0 ที่หลักแรกของ LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบคาโถดร่วม

20. จากโปรแกรมดังรูปที่ 6.4 เปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0x00 มาเป็น movlw 0x01 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

จะเป็นการนับเลข 0-9 ในหลักที่ 2 ของ LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบคาโถดร่วม

21. จากข้อ 5 ถ้าต้องการให้หลักที่ 4 ติด (หลักแรกซ้ายมือ) จะต้องเปลี่ยนข้อมูลเป็นเท่าไร

movlw 0x03

movwf PORTA

22. จากโปรแกรมดังรูปที่ 6.4 เปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0x00 มาเป็น movlw 0x04 และเปลี่ยนข้อมูลจาก dt 3f, 06, 5b, 4f, 66, 6d, 7d, 07, 7f, 6f, 00 มาเป็น dt b0, f9, a4, cf, 99, 92, 82, f8, 80, 90, 00

23. ทำเหมือนขั้นตอนที่ 2 –3 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

จะเป็นการนับเลข 0-9 ที่หลักแรกของ LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบอาโนดร่วม

24. จากข้อ 8 ถ้าเปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0x04 มาเป็น movlw 0x05 ผลจากการสังเกตเป็นดังนี้

จะเป็นการนับเลข 0-9 ในหลักที่ 2 ของ LED ตัวเลข 7 ส่วน แบบอาโนดร่วม

25. จากข้อ 9 ถ้าต้องการให้หลักที่ 4 ติด (หลักแรกซ้ายมือ) จะต้องเปลี่ยนข้อมูลเป็นเท่าไร

movlw 0x07

movwf PORTA

26. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 6.5 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876

27. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 6.3

28. ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต สังเกตผลที่เกิดขึ้น

ที่แบบคาโถดร่วมหลักที่ 1 (ซ้ายมือสุด)แสดงตัวเลข 4

หลักที่ 2 แสดงตัวเลข '3'

หลักที่ 3 แสดงตัวเลข '2'

หลักที่ 4 แสดงตัวเลข '1'

29. ในบรรทัดที่ 16 ถ้าต้องการเปลี่ยนข้อมูลเป็น 0x77 และในบรรทัดที่ 34 เป็น 0xFF สังเกตผลที่เกิดขึ้น

หลักที่ 1 จะแสดง 'A'

หลักที่ 4 จะแสดง 'F'

30. จากโปรแกรมที่ 11.5 ถ้าต้องการให้แสดงผลแบบอาโนดร่วมต้องแก้ไขโปรแกรมอย่างไรบ้าง

จาก movlw 0x00 เป็น movlw 0x04

จาก movlw 0x01 เป็น movlw 0x05

จาก movlw 0x02 เป็น movlw 0x06

จาก movlw 0x03 เป็น movlw 0x07

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายความแตกต่างระหว่าง LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแคโทดร่วมและแอโนดร่วม

LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแคโทดร่วมจะต้องป้อนไฟบวกให้แต่ละขา และป้อนไฟลบเข้าที่ขาร่วม ส่วนแบบแอโนดร่วมก็จะตรงข้ามกันคือ จะต้องป้อนไฟลบให้แต่ละขาและป้อนไฟบวกเข้าที่ขาร่วม

2. จงเขียนวงจรนับเลข 0-9999 โดยให้แสดงผลใน LED ตัวเลข 7 ส่วนแบบแอโนดร่วม

```
      list p=16f876
      include "p16f876.inc"
    __config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC
Digit1      equ      0x20
Digit2      equ      0x21
Digit3      equ      0x22
Digit4      equ      0x23
Column      equ      0x24
CountD      equ      0x25
```

```
Count1      equ     0x26
Buff1       equ     0x28

            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            clrf    TRISA
            clrf    TRISB
            clrf    TRISC
            bcf     STATUS,RP0
MAIN        clrf    PORTA
            clrf    PORTB               ; common cathode
            movlw   0xff
            movwf   PORTC               ; comon anode
            clrf    Digit1
            clrf    Digit2
            clrf    Digit3
            clrf    Digit4
            clrf    Column
Start       movlw   0x10
            movwf   Count1
Lp1         call    SEG0
            decfsz  Count1,F
            goto    Lp1
            incf    Digit1,F
            goto    Start
;_____________________________________ Loop Segment
SEG0        clrf    Column
            movf    Column,W
            movwf   PORTA
SEG11       movf    Digit1,W
            call    SEGMENT
            movwf   Buff1
            sublw   0x00
            btfss   STATUS,Z
            goto    SEG12
            clrf    Digit1
            incf    Digit2,F
            goto    SEG11
SEG12       movf    Buff1,W
            movwf   PORTB
            comf    Buff1,W
            movwf   PORTC
            call    Delay
            movf    Column,W
            addlw   0x04
            movwf   PORTA
            call    Delay
            clrf    PORTB
            movlw   0xff
            movwf   PORTC
            incf    Column,F
            movf    Column,W
            movwf   PORTA
SEG21       movf    Digit2,W
            call    SEGMENT
            movwf   Buff1
            sublw   0x00
            btfss   STATUS,Z
            goto    SEG2
            clrf    Digit2
            incf    Digit3,F
            goto    SEG21
SEG2        movf    Buff1,W
            movwf   PORTB
            comf    Buff1,W
            movwf   PORTC
            call    Delay
            movlw   0x04
            addwf   Column,W
            movwf   PORTA
```

```
            call    Delay
            clrf    PORTB
            movlw   0xff
            movwf   PORTC
            incf    Column,F
            movf    Column,W
            movwf   PORTA
SEG31       movf    Digit3,W
            call    SEGMENT
            movwf   Buff1
            sublw   0x00
            btfss   STATUS,Z
            goto    SEG32
            clrf    Digit3
            incf    Digit4,F
            goto    SEG31
SEG32       movf    Buff1,W
            movwf   PORTB
            comf    Buff1,W
            movwf   PORTC
            call    Delay
            movlw   0x04
            addwf   Column,W
            movwf   PORTA
            call    Delay
            clrf    PORTB
            movlw   0xff
            movwf   PORTC
            incf    Column,F
            movf    Column,W
            movwf   PORTA
SEG41       movf    Digit4,W
            call    SEGMENT
            movwf   Buff1
            sublw   0x00
            btfss   STATUS,Z
            goto    SEG42
            clrf    Digit4
            goto    SEG41
SEG42       movf    Buff1,W
            movwf   PORTB
            comf    Buff1,W
            movwf   PORTC
            call    Delay
            movlw   0x04
            addwf   Column,W
            movwf   PORTA
            call    Delay
            clrf    PORTB
            movlw   0xff
            movwf   PORTC
            return
SEGMENT     addwf   PCL,F
            dt      3f, 06, 5b, 4f, 66, 6d, 7d, 07
            dt      7f, 6f, 00

Delay       movlw   0xff
            movwf   CountD
Del1        decfsz  CountD,F
            goto    Del1
            return

            end
```

รูปที่ 6.1 เฉลยโปรแกรมนับเลข 0000 ถึง 9999 แสดงบน Seven Segment

ใบงานที่ 7
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4x4

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อ PIC16F876 กับสวิตช์เมตริกซ์ (Switch matrix) ขนาด 4x4 ได้
2. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อรับค่าของสวิตช์ได้

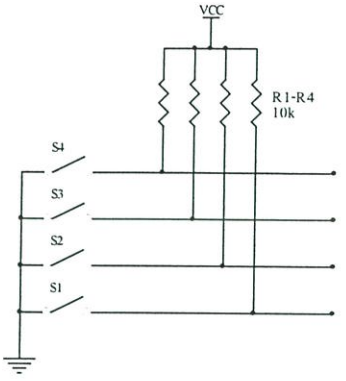
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4x4
3. โมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน
4. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
5. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
6. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

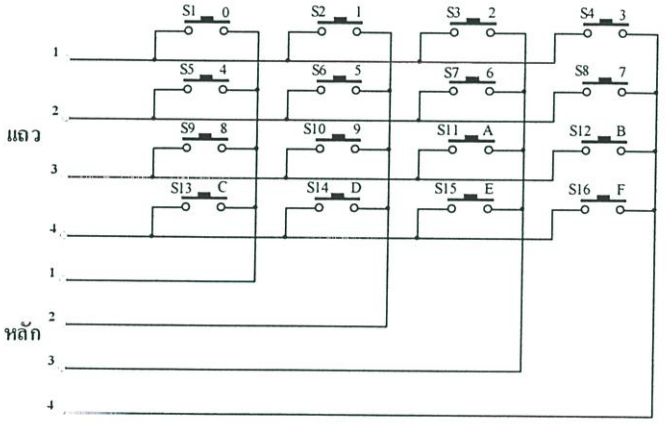
ทฤษฎีเบื้องต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานในการอ่านค่าและการกดสวิตช์ได้ วงจรของการกดสวิตช์มีการต่ออยู่ 2 แบบใหญ่ๆ คือ ต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือต่อลงกราวด์โดยตรง เมื่อสวิตช์ตัวใดต่อวงจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ดังในรูปที่ 7.1 วงจรนี้ไม่มีความซับซ้อนสามารถอ่านค่าได้ง่ายและรวดเร็วแต่มีข้อเสียคือ ถ้าจำนวนสวิตช์มีค่ามากๆ จำนวนของสายข้อมูลก็จะมีมากตาม ทำให้ระบบหรือวงจรมีขนาดใหญ่และทำให้สิ้นเปลืองอุปกรณ์ด้วย

วงจรของสวิตช์อีกลักษณะหนึ่งคือ การต่อวงจรแบบเมตริกซ์ ดังรูปที่ 7.2 สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแกนนอนจะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ (Column) ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่า แถวหรือโรว์ (row) ดังนั้นค่าของสวิตช์จะต้องประกอบด้วย ตำแหน่งในแนวหลักและแถว กระบวนการที่จะทำให้ได้มาซึ่งค่าของสวิตช์มีขั้นตอนที่ซับซ้อนพอสมควร แต่วงจรของสวิตช์แบบนี้มีข้อดีคือสามารถรองรับการเพิ่มของสวิตช์ได้อย่างสะดวกเพียงเพิ่มเติมจำนวนสวิตช์และแก้ไขซอฟแวร์อีกเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์เป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีจำนวนสวิตช์มากกว่า 8 ตัว ในการใช้งานทั่วไปจะเรียกสวิตช์แบบเมตริกซ์นี้ว่า คีย์แพด (Keypad)



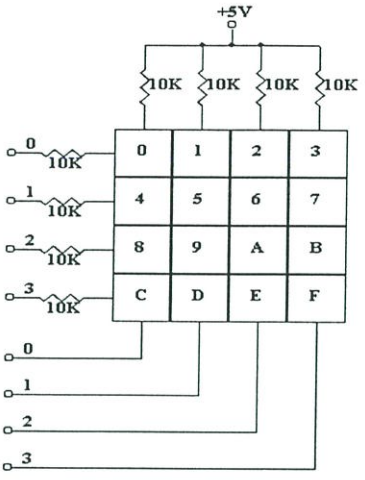
รูปที่ 7.1 วงจรของสวิตช์แบบต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวด์



รูปที่ 7.2 การต่อสวิตช์แบบเมตริกซ์

สายสัญญาณในแนวคอลัมน์ของคีย์แพดจะต่อเข้ากับพอร์ตเอาต์พุต ส่วนสายสัญญาณในแนวแถวจะต่อเข้ากับพอร์ตอินพุตไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ "0" ออกมาทางพอร์ตเอาต์พุต ถ้าหากสวิตช์ถูกกดพอร์ตอินพุตจะอ่านค่า "0" เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

จากหลักการนี้ถ้าหากคีย์แพดมีจำนวนแถวและหลักมากกว่า 1 เส้นดังรูปที่ 7.3 ขั้นตอนการอ่านค่าสวิตช์ที่ถูกกดเริ่มต้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งสัญญาณออกมาทางพอร์ตเอาต์พุตเข้าสู่แต่ละคอลัมน์ของคีย์แพดไล่เรียงกันไปทีละคอลัมน์แล้วอ่านค่าจากสายสัญญาณแต่ละหลักทางพอร์ตอินพุต ถ้าหากค่าของอินพุตที่อ่านเข้ามามีค่าไม่เท่ากับค่าของเอาต์พุตที่ส่งออกไปหรือยังเป็นค่าเดิมแสดงว่ายังไม่มีการกดสวิตช์ เมื่อใดที่ค่าของอินพุตอ่านเข้ามามีค่าเท่ากับค่าของเอาต์พุตที่ส่งออกไปแสดงว่ามีการกดสวิตช์เกิดขึ้น



รูปที่ 7.3 การต่อสวิตช์เมตริกส์ขนาด 4x4

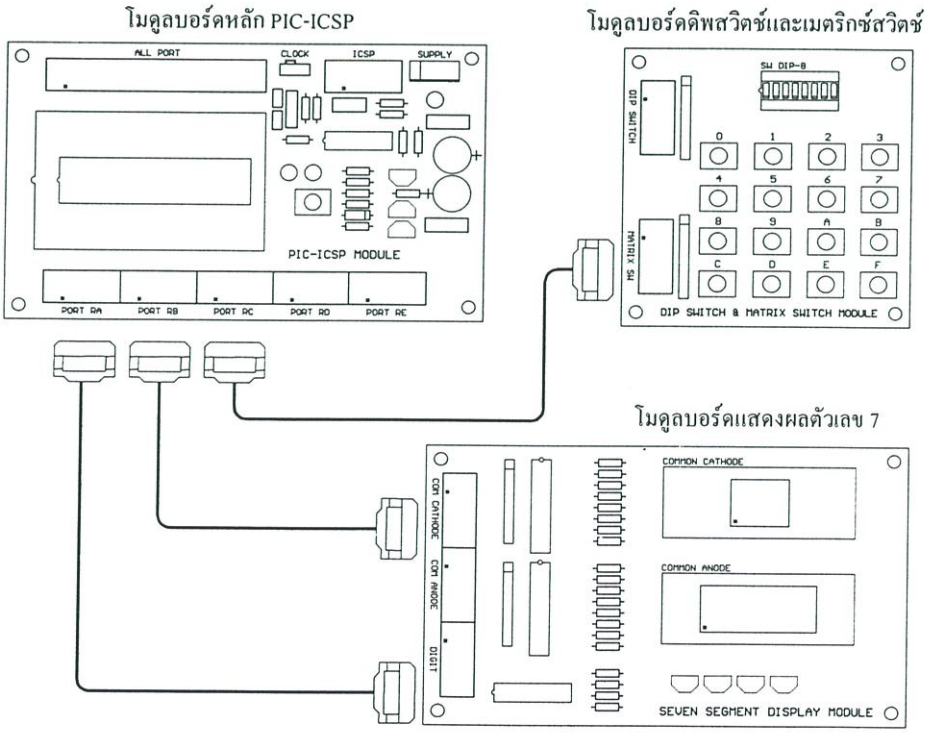
ขั้นตอนการค้นหาตำแหน่งของสวิตช์ที่ถูกกด สายสัญญาณของแถวที่ต่ออยู่กับสวิตช์ที่ถูกกดนั้นจะเป็นลอจิก "0" ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าของเอาต์พุตที่ส่งออกไปและค่าของอินพุตที่อ่านเข้ามาทำการเปิดตารางเพื่อหาค่าของตำแหน่งสวิตช์ด้วยกระบวนการการเขียนโปรแกรม

การอ่านค่าสวิตช์แบบเมตริกส์จะต้องส่งค่า "0" ในแถวออกไปก่อนโดยในแถวแรกจะต้องกำหนดค่าตัวบวกไว้เท่ากับ "0" จากนั้นอ่านค่าในแนวหลักกลับมา ถ้าไม่มีการกดคีย์ใดๆในแถวนั้นค่าที่อ่านได้จะเป็นค่าเดิมคือค่าลอจิก 1 อันเป็นผลมาจากค่าความต้านทานที่ต่อพูลอัปเอาไว้ จากนั้นก็ทำการอ่านค่าในแถวถัดไปพร้อมทั้งเพิ่มค่าตัวบวกเข้าไปด้วยจะทำเช่นนี้ไปจนครบทุกแถวแล้วกลับมาเริ่มต้นที่แถวแรกใหม่จนกว่าจะมีการกดคีย์

เมื่อมีการกดคีย์เกิดขึ้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าของคอลัมน์ที่มีการกดคีย์มีค่าอยู่ระหว่าง 4 หลักไปบวกกับค่าของแถวนั้น เช่น มีการกดคีย์ 5 เกิดขึ้นดังนั้นถ้าสแกนคีย์ไปในแถวที่ 1 จะพบว่ามีการกดคีย์ในคอลัมน์ที่ 1 ค่าที่อ่านได้จะมีค่าเท่ากับ 4+1 = 5 ดังแสดงในตารางที่ 7.1 แสดงการค้นหาตำแหน่งของสวิตช์ที่ถูกกด

ตารางที่ 7.1 สรุปการค้นหาตำแหน่งของสวิตช์ที่ถูกกด

รหัสของคีย์	ตัวนับคอลัมน์	ตัวบวก	ข้อมูลของคีย์
0 = 1110	0	0	0
1 = 1110	1	0	1
2 = 1110	2	0	2
3 = 1110	3	0	3
4 = 1101	0	4	4
5 = 1101	1	4	5
6 = 1101	2	4	6
7 = 1101	3	4	7
8 = 1011	0	8	8
9 = 1011	1	8	9
A = 1011	2	8	A(10)
B = 1011	3	8	B(11)
C = 0111	0	12	C(12)
D= 0111	1	12	D(13)
E = 0111	2	12	E(14)
F = 0111	3	12	F (15)



รูปที่ 7.4 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ด PIC-ICSP โมดูลบอร์ดสวิตช์เมตริกส์และโมดูลบอร์ดแสดงผล LED เลข 7 ส่วน

```
    List p=16f876
    #Include "p16f876.inc"
  __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
  COUNT       equ     0x21
  COUNTD      equ     0x22
              org     0x000
              bsf     STATUS,RP0
              movlw   0x06
              movwf   ADCON1
              movlw   0xff
              movwf   PORTA
              clrf    PORTC
              movlw   b'11111111'
              movwf   PORTB
              bcf     STATUS,RP0
              movlw   0xFF
              movwf   PORTB

  Start       bcf     PORTB,0
              call    Key
              bsf     PORTB,0
              bcf     PORTB,1
              call    Key
              bsf     PORTB,1
              bcf     PORTB,2
              call    Key
              bsf     PORTB,2
              bcf     PORTB,3
              call    Key
              bsf     PORTB,3
              goto    Start

  Key         movlw   0x00
              movwf   COUNT
              btfss   PORTB,4
              call    Display
              incf    COUNT,F
              btfss   PORTB,5
              goto    Display
              incf    COUNT,F
              btfss   PORTB,6
              goto    Display
              incf    COUNT,F
              btfss   PORTB,7
              goto    Display
              return

  Display     clrf    PORTA
              movf    COUNT,W
              call    DATA1
              movwf   PORTC
              call    Delay
              movlw   0x01
              movwf   PORTA
              return
  DATA1       addwf   PCL,F
              dt      3f, 06, 5b, 4f, 66, 6d, 7d, 07
              dt      7f, 6f, 77, 7c, 39, 5e, 79, 71 ,00

  Delay       movlw   0x02
              movwf   COUNTD
  Del1        decfsz  COUNTD,F
              goto    Del1
              return
              end
```

รูปที่ 7.5 โปรแกรมการอ่านค่าคีย์แพดโดยใช้หลักการสแกนคีย์

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 7.5 ทำการแอสเซมเบลอร์
2. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 7.4
3. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการคลิกปุ่ม RUN
4. เมื่อกดสวิตช์แต่ละตัว ผลที่ได้คือ

ตารางที่ 7.2 ผลการติดของไดโอดเปล่งแสงตัวเลข 7 ส่วนจากการกดสวิตช์

กดสวิตช์	แสดงผลที่ตัวเลข 7 ส่วน
0	.....
1	.....
2	.....
3	.....
4	.....
5	.....
6	.....
7	.....
8	.....
9	.....
A	.....
B	.....
C	.....
D	.....
E	.....
F	.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 7.5
2. จงอธิบายหลักการทำงานของสวิตช์เมตริกส์ขนาด 4X4 มาพอเข้าใจ
3. จงเขียนโปรแกรมรับค่าจากสวิตช์เมตริกส์ 4X4 ที่เข้ามาที่พอร์ต C โดยให้พอร์ต C ทางด้าน 4 บิตล่างเป็นเอาต์พุตและ 4 บิตบนเป็นเอาต์พุต

เฉลยใบงานที่ 7

การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4x4

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

5. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 7.5 ทำการแอสเซมเบลอร์
6. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 7.4
7. เขียนข้อมูลลงบน PIC16F876 ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยคลิกปุ่ม RUN
8. เมื่อกดสวิตช์แต่ละตัว ผลที่ได้คือ

ตารางที่ 7.1 ผลการติดของ LED ตัวเลข 7 ส่วนจากการกดสวิตช์

กดสวิตช์	แสดงผลที่ LED ตัวเลข 7 ส่วน
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
A	A
B	B
C	C
D	D
E	E
F	F

คำถามท้ายการทดลอง

4. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 7.5

โปรแกรมรับค่าจากการกดสวิตช์เมตริกซ์ แล้วแสดงผลตามตัวเลขที่กด ทำงานโดยการสแกนคีย์ ไปทีละแถว โดยมีตัวแปรสำหรับบอกค่าปุ่มที่กด ตัวแปรจะเพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆ ถ้าหากไม่มีการกด ทุกๆ ปุ่มที่ทำการสแกน ก็จะทำให้ค่าที่อยู่ในตัวแปรดังกล่าวเพิ่มขึ้นไปตรงกับปุ่มที่สแกน และเมื่อเกิดการกดปุ่มก็จะนำค่าดังกล่าวไปในเปิดตารางแล้วแสดงผลได้

5. จงอธิบายหลักการทำงานของสวิตช์เมตริกส์ขนาด 4X4 มาพอเข้าใจ

การทำงานของสวิตช์เมตริกซ์ขนาด 4x4 จะมีการสแกนแถวทีละแถวแล้ว ตรวจสอบคีย์ในแถวนั้น ว่าถูกกดหรือไม่ คือตรวจสอบทางคอลัมน์นั่นเอง ถ้าหากมีการกดก็จะอ่านค่าของคอลัมน์ได้ตรงตามปุ่มที่กด แล้วสแกนแถวต่อไปเรื่อยๆ ตลอดเวลา

6. จงเขียนโปรแกรมรับค่าจากสวิตช์เมตริกซ์ 4X4 ที่เข้ามาที่พอร์ต C โดยให้พอร์ต C ทางด้าน 4 บิตล่างเป็นเอาต์พุตและ 4 บิตบนเป็นอินพุต

```
   List p=16f876
   #Include "p16f876.inc"
 __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
COUNT       equ     0x21
COUNTD      equ     0x22
            org     0x000
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            movlw   0xff
            movwf   PORTA
            clrf    PORTB
            movlw   b'11110000'
            movwf   PORTC
            bcf     STATUS,RP0
            movlw   0xFF
            movwf   PORTC

Start       bcf     PORTC,0
            call    Key
            bsf     PORTC,0
            bcf     PORTC,1
            call    Key
            bsf     PORTC,1
            bcf     PORTC,2
            call    Key
            bsf     PORTC,2
            bcf     PORTC,3
            call    Key
            bsf     PORTC,3
            goto    Start

Key         movlw   0x00
            movwf   COUNT
            btfss   PORTC,4
            call    Display
            incf    COUNT,F
            btfss   PORTC,5
            goto    Display
            incf    COUNT,F
```

```
            btfss    PORTC,6
            goto     Display
            incf     COUNT,F
            btfss    PORTC,7
            goto     Display
            return

Display     clrf     PORTA
            movf     COUNT,W
            call     DATA1
            movwf    PORTB
            call     Delay
            movlw    0x01
            movwf    PORTA
            return
DATA1       addwf    PCL,F
            dt       3f, 06, 5b, 4f, 66, 6d, 7d, 07
            dt       7f, 6f, 77, 7c, 39, 5e, 79, 71 ,00

Delay       movlw    0x02
            movwf    COUNTD
Del1        decfsz   COUNTD,F
            goto     Del1
            return
            end
```

รูปที่ 7.1 เฉลยโปรแกรมสแกนคีย์ สวิตช์เมตริกซ์ 4x4

ใบงานที่ 8
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง (DC Motor)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถเลือกอุปกรณ์ขับกระแสและแรงดันที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้
2. เพื่อให้สามารถใช้งาน PIC16F876 และอุปกรณ์ขับกระแสและแรงดันชนิดต่างๆได้
3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(DC Motor)ได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

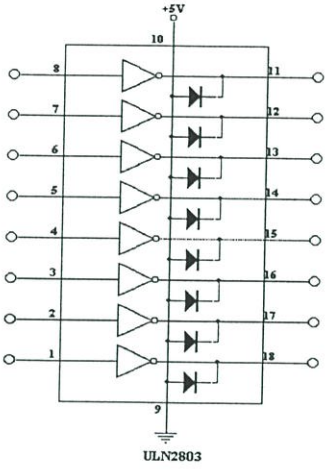
1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดการขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์
3. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
4. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
5. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
6. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

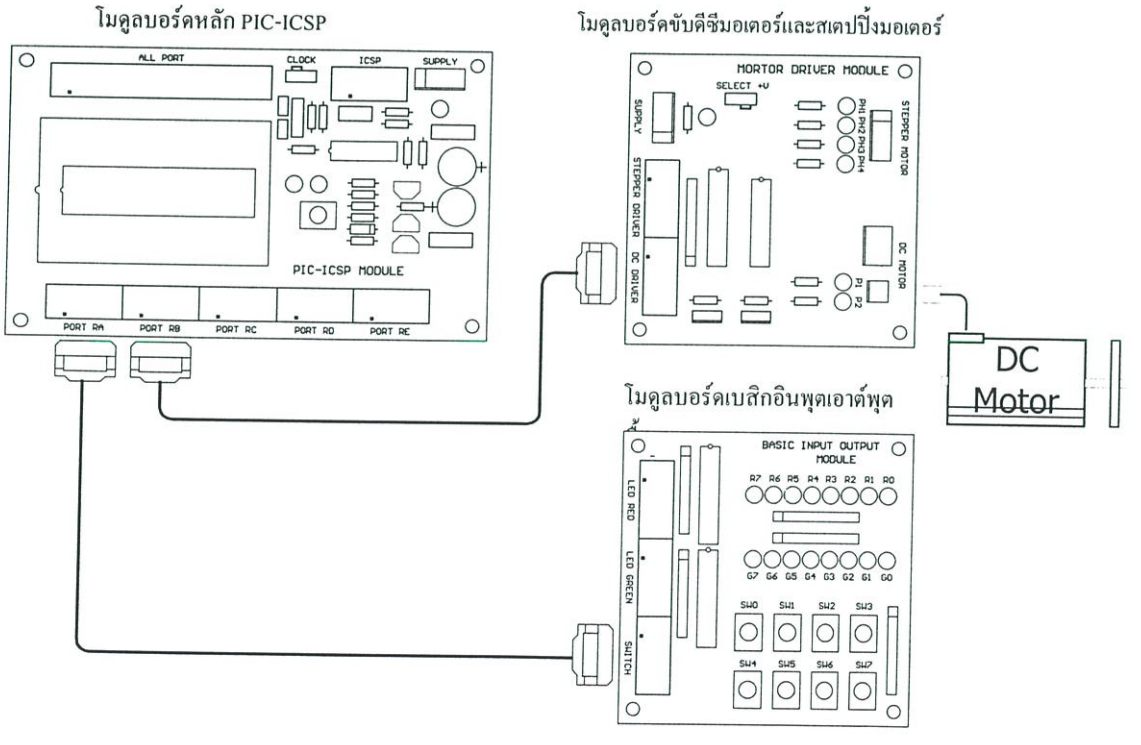
มอเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล และมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนด้วยกระแสไฟฟ้าดีซีเรียกว่า มอเตอร์ดีซี การควบคุมมอเตอร์เราสามารถควบคุมทิศทางการหมุน หรือควบคุมให้หมุนช้าหรือเร็วก็ได้โดย ควบคุมและผ่านไอซี ULN2803 ซึ่งเป็นตัวช่วยขับกระแสและแรงดันโดยไอซี UNL2803 เป็นไอซีไดรเวอร์ที่มีความสามารถสูง ภายในจะบรรจุอินเวอร์เตอร์เกต (Inverter gate) แบบคอลเล็กเตอร์เปิด (Open collector) 8 ตัว สามารถใช้แรงดันได้สูงสุดบวก 50 โวลต์ กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500 มิลลิแอมป์ นอกจากนั้นยังต่อไดโอดป้องกันไว้ทุกๆ เอาต์พุต ทำให้สามารถต่อโหลดที่เป็นขดลวดได้ทันที วงจรภายในและขาต่อใช้งานของไอซีไดรเวอร์เบอร์ UNL2803 เป็นดังรูปที่ 8.1

การควบคุมความเร็วการหมุนของมอเตอร์นั้นก็สามารถทำได้โดย จ่ายกระแสในลักษณะของพัลส์และควบคุมความกว้างของพัลส์ในช่วงแรงดัน 5 โวลต์ หากความกว้างของระดับแรงดันมี

ค่ามากค่ากระแสเฉลี่ยก็จะมีค่าสูงขึ้นทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นในทางตรงข้ามถ้าระดับแรงดันมีค่าลดลงค่ากระแสเฉลี่ยก็มีค่าลดลงทำให้มอเตอร์หมุนช้าลงด้วย



รูปที่ 8.1 การจัดขาและวงจรภายในของไอซี ULN2803



รูปที่ 8.2 การเชื่อมโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต และโมดูลบอร์ดขับมอเตอร์

```
   List p=16f876
   #Include "p16f876.inc"
__config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
COUNT1      equ      0x21
COUNT2      equ      0x22

            org      0x00
            bsf      STATUS,RP0
            movlw    0x06
            movwf    ADCON1
            movlw    0xFF
            movwf    TRISA
            clrf     TRISB
            bcf      STATUS,RP0
            clr      PORTB
Sw1         btfsc    PORTA,0
            goto     Sw2
            movlw    0x00
            movwf    PORTB
            call     Delay

Sw2         btfsc    PORTA,1
            goto     Sw3
            movlw    0x02
            movwf    PORTB
            call     Delay

Sw3         btfsc    PORTA,2
            goto     Sw4
            movlw    0x04
            movwf    PORTB
            call     Delay

Sw4         btfsc    PORTA,3
            goto     Sw1
            movlw    0x06
            movwf    PORTB
            call     Delay

Delay       movlw    0x20
            movwf    COUNT1
Delay1      movlw    0xFF
            movwf    COUNT2
Delay2      decfsz   COUNT2,1
            goto     Delay2
            decfsz   COUNT1,1
            goto     Delay1
            end
```

รูปที่ 8.3 การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 8.3 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 8.2
3. ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยคลิกปุ่ม RUN สังเกตผลที่เกิดขึ้น

.....

.....

4. เมื่อกดสวิตช์ SW1 ผลที่ได้คือ

.....

5. เมื่อกดสวิตช์ SW2 ผลที่ได้คือ

.....

6. เมื่อกดสวิตช์ SW3 ผลที่ได้คือ

.....

7. เมื่อกดสวิตช์ SW4 ผลที่ได้คือ

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายโปรแกรมดังรูปที่ 8.3

2. จงเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีระดับความเร็วของมอเตอร์ 4 ระดับคือกด SW1 ให้หมุนช้า กด SW2 ให้หมุนเร็ว กด SW3 ให้หมุนเร็วขึ้น และกด SW4 จะหมุนเร็วที่สุด

เฉลยใบงานที่ 8
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับมอเตอร์ไฟฟ้า
กระแสตรง (DC Motor)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

8. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 8.3 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
9. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 8.2
10. ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต สังเกตผลที่เกิดขึ้น

มอเตอร์จะหมุนเมื่อมีการกดสวิตช์ SW1 และ SW2

11. เมื่อกดสวิตช์ SW1 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหมุนเมื่อมีการกดสวิตช์ SW1 และ SW2

12. เมื่อกดสวิตช์ SW2 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

13. เมื่อกดสวิตช์ SW3 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

14. เมื่อกดสวิตช์ SW4 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหยุดหมุน

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 8.3

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 8.3 คือ กำหนดให้พอร์ต A เป็นอินพุตเพื่อใช้ในการตรวจสอบสวิตช์ ส่วนพอร์ต B เป็นเอาต์พุตเพื่อใช้ในการกระตุ้นขดลวดของมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์หมุนได้ ดังนั้นเมื่อกดสวิตช์ SW1 และ SW4 มอเตอร์จะไม่หมุน ถ้ากำหนดสวิตช์ SW2 จะทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางหนึ่งถ้ากดสวิตช์ SW3 จะทำให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางกัน

2. จงเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีระดับความเร็วของมอเตอร์ 4 ระดับคือ กดสวิตช์ SW1 ให้หมุนช้า กด SW2 ให้หมุนเร็ว กด SW3 ให้หมุนเร็วขึ้น และสุดท้ายกด SW4 จะหมุนเร็วที่สุด

```
List p=16f877
                        #include "p16f877.inc"
          __config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC
                tempSw      equ      0x20
                            radix    dec

                            org      0x00
                          bsf      STATUS,RP0
                            movlw    0x06
                           movwf    ADCON1
                            movlw    0xff
                           movwf    TRISA
                            clrf     TRISB
                          movlw    b'11111001'
             movwf    TRISC          ; make drive DC Moter
                            bcf      STATUS,RP0
           movlw    249             ; 249:PWM Period = 250Hz
                           movwf    PR2
              movlw    125            ; Duty cycle 50 %
    movwf    CCPR1L         ; value of (CCPR1L:CCP1CON<5:4>) = 500
                          movlw    b'00001100'
         movwf    CCP1CON         ; CCP1X:CCP1Y = 00, PWM mode
                        clrf     TMR2
movlw    b'00000010'    ; Postscale (no use), Timer2 OFF, Prescaler 16
                            movwf    T2CON
           Start       bsf      PORTC,1
                        bsf      T2CON,TMR2ON
               loop       movf     CCPR1L,W
                        movwf    PORTB
                             call     scank
                             andlw    0xff
                           btfsc    STATUS,Z
                             goto     loop
                              sublw    1
                           btfss    STATUS,Z
                            goto     speedup
          speeddown   movf     CCPR1L,W
                              sublw    15
                           btfsc    STATUS,C
                           goto     Continue
                              movlw    10
                           subwf    CCPR1L,F
                           goto     Continue
speedup      movf     CCPR1L,W       ; test CCPR1L > 245 ?
             sublw    245             ;   245 - CCPR1L = ?
                btfss    STATUS,C       ;   test carry
               goto     Continue       ; yes, no action
                 movlw    10              ; no, add 10
                           addwf    CCPR1L,F
                           goto     Continue
        ;-------------- scan key --------------
                 scank       movlw    0
                           btfss    PORTA,0
                              movlw    1
                           btfss    PORTA,1
                              movlw    2
                          subwf    tempSw,F
                           movwf    tempSw
                          btfsc    STATUS,C
                      retlw    0
                             return
end
```

รูปที่ 8.1 เฉลยโปรแกรมควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์

เฉลยใบงานที่ 9
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับวงจรมอดูเลชัน ทางความกว้างของพัลส์ (PWM)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมที่ จ.47 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 9.4
3. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
4. สังเกตการหมุนของมอเตอร์ และ LED P1 และ P2 ในโมดูลบอร์ดขับมอเตอร์

LED ติดหรือไม่ P1 ไม่ติด P2 ติด

มอเตอร์หมุนทิศทางใด ตามเข็มนาฬิกา

5. กดสวิตช์ SW0 ในโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุต 5 ครั้ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงความเร็วมอเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างไร มอเตอร์หมุนช้าลง

LED เปลี่ยนแปลงอย่างไร P1 ไม่ติด P2 สว่างน้อยลง

6. กดสวิตช์ SW1 ในโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุต 10 ครั้ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงความเร็วมอเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างไร มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นกว่าครั้งแรก

LED เปลี่ยนแปลงอย่างไร P1 ไม่ติด P2 สว่างมากขึ้น

7. จากโปรแกรม การเปลี่ยนแปลงค่าในรีจีสเตอร์ CCPR1L มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์อย่างไร จงอธิบาย

ค่าในรีจีสเตอร์ CCPRL1 เป็นตัวที่ใช้กำหนดค่า Duty Cycle ของสัญญาณ PWM ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันไฟเฉลี่ยที่มอเตอร์ได้รับเปลี่ยนแปลง ทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไป

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของโปรแกรมที่ จ.47

โปรแกรมควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ PWM มีหลักการคือ เปลี่ยนค่าในรีจีสเตอร์ CCPRL1 ซึ่งเป็นตัวกำหนด Duty Cycle ก็จำทำให้ความเร็วของมอเตอร์เปลี่ยนไป

2. จงอธิบายส่วนสำคัญของการเขียนโปรแกรม เพื่อควบคุมให้ PIC16F876 ทำงานเป็นวงจร PWM

การอีนาเบิลโมดูลบอร์ด PWM ใน PIC16F876 จากนั้นทำการคำนวณหาค่า ที่ต้องการจากความถี่ของสัญญาณ และค่า Duty Cycle และคำนวณความเป็นไปได้ของสัญญาณ เพื่อกำหนดค่าใน Timer 2 ก็จะสามารถสร้างสัญญาณ PWM ตามต้องการได้

3. จงยกตัวอย่างการนำวงจร PWM ที่มี PIC16F876 เป็นอุปกรณ์หลักไปใช้งาน
    1. วงจรควบคุมแสงสว่างของ LED
    2. วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ DC
    3. วงจรสร้างสัญญาณ PWM แบบปรับความถี่ และ Duty Cycle ได้

ใบงานที่ 9
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับวงจรมอดูเลชั่น ทางความกว้างของพัลซ์ (PWM)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถอธิบายหลักการทำงานของการมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลซ์ได้
2. เพื่อให้สามารถใช้ PIC16F876 สร้างวงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลซ์ (PWM) ได้
3. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้งานวงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลซ์ (PWM) ที่มี PIC16F876 เป็นอุปกรณ์หลักได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

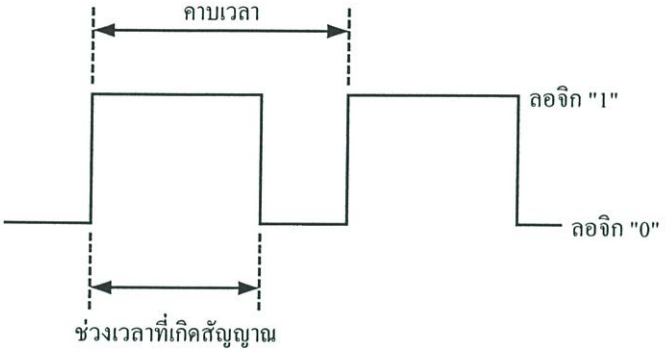
1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
3. โมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์
4. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
5. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
6. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

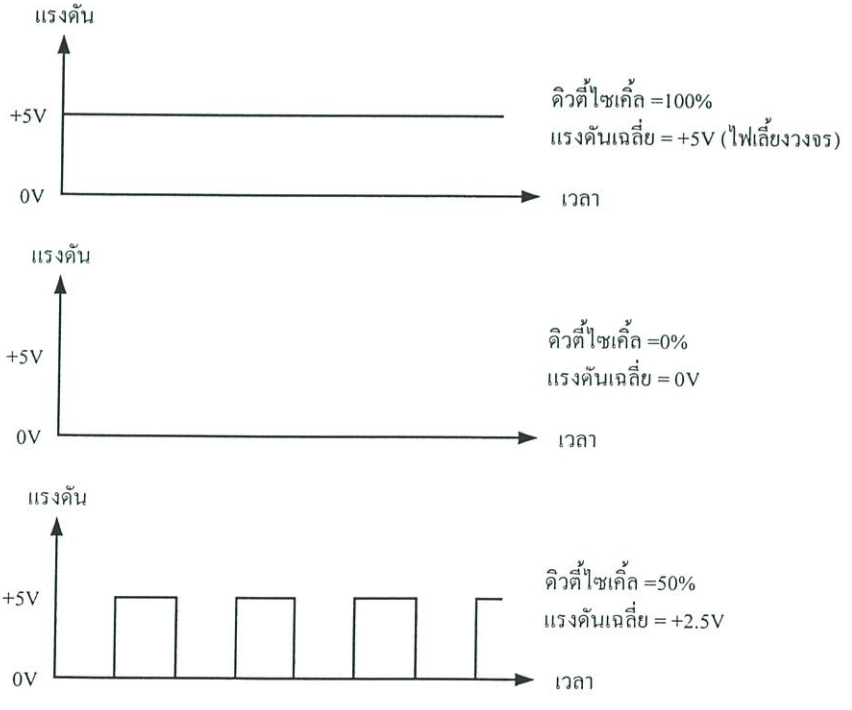
การมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลซ์ หรือPWM (Pulse Width modulation)เป็นกระบวนการที่เข้าไปจัดการเกี่ยวกับสัดส่วนความกว้างของพัลซ์หรือที่เรียกว่า ดิวตี้ไซเคิล โดยที่ความถี่ของพัลซ์นั้นไม่เปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 9.1 ดิวตี้ไซเคิล คือ ช่วงของพัลซ์ที่เป็นลอจิกสูง สัญญาณที่มีดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 50% หมายความว่า ในหนึ่งรูปสัญญาณมีช่วงสัญญาณที่เป็นลอจิกสูงหรือมีสัญญาณครึ่งหนึ่ง ช่วงที่เป็นลอจิกต่ำหรือไม่มีสัญญาณครึ่งหนึ่งถ้าค่าดิวตี้ไซเคิลมากก็หมายความว่าสัญญาณพัลซ์ลูกนั้นมีช่วงเวลาของสัญญาณมาก นั่นคือเป็นพัลซ์ที่ความกว้างของสัญญาณมากหากว่าค่าของดิวตี้ไซเคิลน้อย พัลซ์ลูกนั้นก็มีช่วงเวลาของสัญญาณน้อย พัลซ์จึงมีลักษณะค่อนข้างแคบ ค่าของดิวตี้ไซเคิลสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ดิวตี้ไซเคิล}(D) = \frac{\text{ช่วงเวลาของสัญญาณ}}{\text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ} \times 100\%} \quad (9.1)$$

ดังนั้นค่าดิวตี้ไซเคิลจะมีค่าตั้งแต่ 0-100%



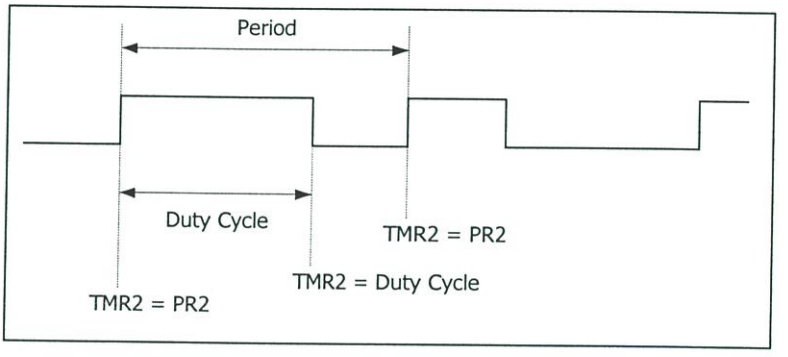
รูปที่ 9.1 ดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ



รูปที่ 9.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของดิวตี้ไซเคิล

การใช้ PWM Module ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F8XX

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F8XX มีรีจิสเตอร์สำหรับสร้างสัญญาณ PWM อยู่สองตัวคือ CCP1 และ CCP2 (CCP : Capture/Compare/PWM) โดยโปรแกรมให้รีจิสเตอร์ดังกล่าวทำงานอยู่ในโหมด PWM เลือกใช้งานตัวใดก็ได้ จะให้เอาต์พุตสัญญาณ PWM ที่พอร์ต RC1 และ RC2



รูปที่ 9.3 สัญญาณ PWM เอาต์พุต

PWM period คือ คาบเวลา 1 ไซเคิลของ PWM

สามารถที่จะกำหนดค่าเวลานี้ได้โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ PR2 ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{PWM period} = \left[(\text{PR2}) + 1\right] \times 4 \times \text{Tosc} \times (\text{TMR2 prescale value}) \qquad (9.2)$$

(PR2) คือ ค่าในรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สำหรับกำหนดความกว้างของ PWM period

Tosc คือ คาบเวลาของสัญญาณจากคริสตอล เช่น คริสตอล 4MHz จะมี Tosc = 1/4MHz

(TMR2 prescale value) คือ ค่าการหารความถี่ของ Timer2

ความถี่ของสัญญาณ PWM หาได้จาก

$$\text{PWM frequency} = \frac{1}{\text{PWM period}} \qquad (9.3)$$

PWM duty cycle คือ คาบเวลาที่สัญญาณ PWM เป็น "1" ใน PWM period

สามารถกำหนดเวลานี้ได้จากการใส่ค่าในรีจิสเตอร์ CCP1L ขนาด 8 บิตนัยความสำคัญด้านสูง และในรีจิสเตอร์ CCP1CON อีก 2 บิตนัยความสำคัญด้านต่ำ คือ บิต 5 และบิต 4 รวมทั้งหมด 10 บิต ค่าดังกล่าวสามารถคำนวนได้จาก

$$\text{PWM duty cycle} = (\text{CCPR1L} : \text{CCP1CON} < 5:4 >) \times \text{Tosc} \times (\text{TM2 prescale value}) \qquad (9.4)$$

โดยค่าสูงสุดที่จะใส่ใน (CCPR1L:CCP1CON<5:4>) หาได้จาก $2^{\text{resolution}}$ เมื่อ

$$\text{resolution} = \frac{\log\left[\frac{F_{OSC}}{F_{PWM}}\right]}{\log(2)} \qquad (9.5)$$

ตัวอย่าง ถ้าต้องการสร้างสัญญาณ PWM ความถี่ 250 Hz โดยมีค่า PWM duty cycle ที่ 25% โดยสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้คริสตอลความถี่ 4 MHz

วิธีทำ สามารถคำนวนค่าในรีจิสเตอร์ PR2 และ (CCPR1L:CCP1CON<5:4>) เมื่อใช้ค่า (TMR2 prescale value) = 16 ได้จาก

(14.2) 1/250Hz = (PR2+1) * 4 * (1/4MHz) * 16

จะได้ (PR2) = 249

และ (25%)/(250Hz * 100) = (CCPR1L:CCP1CON<5:4>) * (1/4MHz) * 16

จะได้ (CCPR1L:CCP1CON<5:4>) = 250

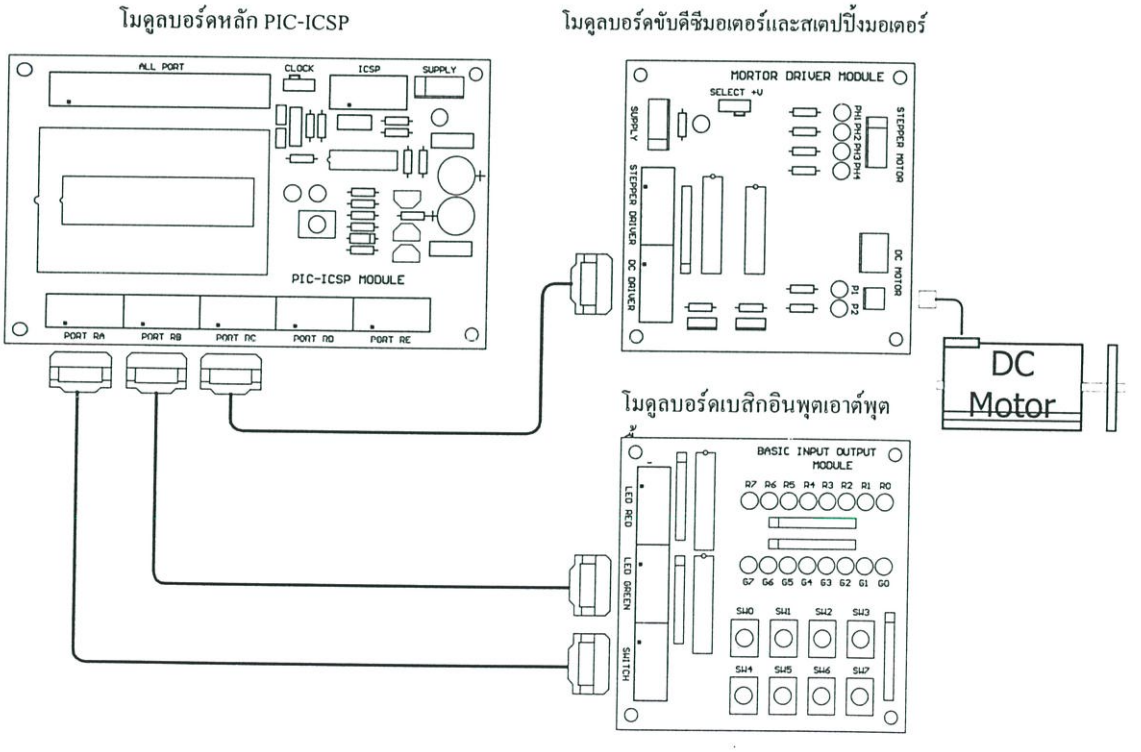
ดังนั้นสามารถทำได้โดย

- กำหนดค่าในรีจิสเตอร์ PR2 = 249
- กำหนดค่าในรีจิสเตอร์ CCPR1L = b'00111110'
- กำหนดค่าในรีจิสเตอร์ CCP1CON<5:4> = b'10'
- กำหนดค่า TMR2 prescale = 16

การประยุกต์ใช้งาน

ในการทดลองใช้ PWM ที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 จะทำโดยการนำมาขับมอเตอร์กระแสตรง ที่สามารถปรับความเร็วได้ ซึ่งการปรับความเร็วจะทำโดยปรับค่าดิวตี้ไซเคิลของสัญญาณ PWM ถ้าหากปรับค่าดิวตี้ไซเคิลมาก จะทำให้มีแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณมาก ทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น แต่ถ้าปรับค่าดิวตี้ไซเคิลน้อยแรงดันเฉลี่ยก็น้อย มอเตอร์ก็จะหมุนช้า จนถึงหยุดหมุนเมื่อปรับค่าดิวตี้ไซเคิลเป็น 0 %

การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์จะเชื่อมต่อกับ PORTC ซึ่งเป็นขาเอาต์พุตของสัญญาณ PWM ส่วนสวิตช์ที่ใช้ปรับความเร็วจะใช้สวิตช์จากโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุต และก็ทำการแสดงผลค่าของ CCP1L เพื่อให้สามารถมองเห็นว่าค่ากำหนดดิวตี้ไซเคิลที่เปลี่ยนไปทำให้มอเตอร์เปลี่ยนความเร็วไปด้วย



รูปที่ 9.4 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ด PIC-ICSP โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุต และโมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์

```
            List p=16f876
            #include "p16f876.inc"
            __config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC
 tempSw     equ     0x20
            radix   dec

            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            movlw   0xff
            movwf   TRISA
            clrf    TRISB
            movlw   b'11111001'
            movwf   TRISC           ; make drive DC Moter
            bcf     STATUS,RP0
            movlw   249             ; 249:PWM Period = 250Hz
            movwf   PR2
            movlw   125             ; Duty cycle 50 %
            movwf   CCPR1L          ; value of (CCPR1L:CCP1CON<5:4>) = 500
            movlw   b'00001100'
            movwf   CCP1CON         ; CCP1X:CCP1Y = 00, PWM mode
            clrf    TMR2
            movlw   b'00000010'     ; Postscale (no use), Timer2 OFF, Prescaler 16
            movwf   T2CON
 Start      bsf     PORTC,1
            bsf     T2CON,TMR2ON
 loop       movf    CCPR1L,W
            movwf   PORTB
            call    scank
            andlw   0xff
            btfsc   STATUS,Z
            goto    loop
            sublw   1
            btfss   STATUS,Z
            goto    speedup
 speeddown  movf    CCPR1L,W
            sublw   15
            btfsc   STATUS,C
            goto    Continue
            movlw   10
            subwf   CCPR1L,F
            goto    Continue
 speedup    movf    CCPR1L,W        ; test CCPR1L > 245 ?
            sublw   245             ;   245 - CCPR1L = ?
            btfss   STATUS,C        ;   test carry
            goto    Continue        ; yes, no action
            movlw   10              ; no, add 10
            addwf   CCPR1L,F
            goto    Continue
 ;-------------- scan key --------------
 scank      movlw   0
            btfss   PORTA,0
            movlw   1
            btfss   PORTA,1
            movlw   2
            subwf   tempSw,F
            movwf   tempSw
            btfsc   STATUS,C
            retlw   0
            return
            end
```

รูปที่ 9.5 โปรแกรมควบคุมความเร็วดีซีมอเตอร์โดยใช้สัญญาณพัลซ์วิธมอดูเลชั่น

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

8. เขียนโปรแกรมตามรูปที่ 9.5 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876

9. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 9.4

10.ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN

11.สังเกตการหมุนของมอเตอร์ และ LED P1 และ P2 ในโมดูลบอร์ดขับมอเตอร์

LED ติดหรือไม่ P1..... P2.....

มอเตอร์หมุนทิศทางใด.....

12.กดสวิตช์ SW0 ในโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุต 5 ครั้ง สังเกตการเปลี่ยนแปลง

ความเร็วมอเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างไร.....

LED เปลี่ยนแปลงอย่างไร P1..... P2.....

13.กดสวิตช์ SW1 ในโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุต 10 ครั้ง สังเกตการเปลี่ยนแปลง

ความเร็วมอเตอร์เปลี่ยนแปลงอย่างไร.....

LED เปลี่ยนแปลงอย่างไร P1..... P2.....

14.จากโปรแกรม การเปลี่ยนแปลงค่าในรีจิสเตอร์ CCPR1L มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ความเร็วของมอเตอร์อย่างไร จงอธิบาย

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

4. จงอธิบายการทำงานของโปรแกรมที่ 14.1

5. จงอธิบายส่วนสำคัญของการเขียนโปรแกรม เพื่อควบคุมให้ PIC16F876 ทำงานเป็นวงจร PWM

6. จงยกตัวอย่างการนำวงจร PWM ที่มี PIC16F876 เป็นอุปกรณ์หลักไปใช้งาน

ใบงานที่ 10
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับสเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถเลือกอุปกรณ์ขับกระแสและแรงดันที่เหมาะสมได้
2. เพื่อให้สามารถใช้งาน PIC16F876 และอุปกรณ์ขับกระแสและแรงดันชนิดต่างๆ ได้
3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์
3. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
4. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์พีซี
5. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

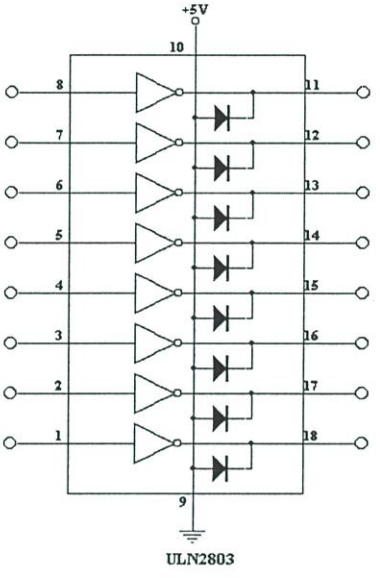
เมื่อต้องการขับอุปกรณ์ที่ต้องใช้กระแสและแรงดันสูงๆเกินกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ขับได้โดยตรงดังนั้น ต้องมีการขับกระแสและแรงดันผ่านตัวอุปกรณ์ตัวหนึ่งที่เรียกว่าอุปกรณ์ไดรเวอร์ (Driver) ซึ่งอุปกรณ์ตัวนี้มีอยู่ 3 แบบดังนี้

1. ใช้ไอซีขับ
2. ใช้ทรานซิสเตอร์ขับ
3. ใช้อุปกรณ์เชื่อมโยงทางแสง

การใช้ไอซีขับ

การใช้ไอซีขับโหลดที่ต้องการกระแสสูงส่วนใหญ่จะมีวงจรเอาต์พุตเป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ทำให้สามารถใช้กับแรงดันตั้งแต่ 30 โวลต์ ขึ้นไปซึ่งขึ้นอยู่กับไอซีแต่ละเบอร์ สำหรับไอซีขับหรือไอซีไดรเวอร์ที่จะอธิบายนี้คือ เบอร์ ULN2803 ซึ่งเป็นไอซีที่เราใช้ขับสเตปปิ้งมอเตอร์ในการทดลองนี้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ULN2803 เป็นไอซีไดรเวอร์ที่มีความสามารถสูง ภายในจะบรรจุอินเวอร์เตอร์เกตแบบคอลเล็กเตอร์เปิด 8 ตัว สามารถใช้แรงดันได้สูงสุดบวก 50 โวลต์ กระแสเอาต์พุตสูงสุดในแต่ละขาเท่ากับ 500 มิลลิแอมป์ นอกจากนั้นยังต่อไดโอดป้องกันไว้ทุกๆ เอาต์พุต ทำให้สามารถต่อโหลดที่เป็นขดลวดได้ทันที วงจรภายในและขาต่อใช้งานของไอซีไดรเวอร์เบอร์ ULN2803 เป็นดังรูปที่ 10.1

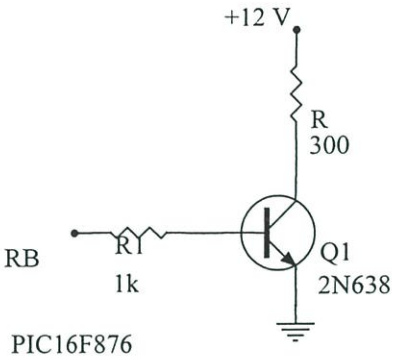


รูปที่ 10.1 การจัดขาและวงจรภายในของไอซี ULN2803

การใช้ทรานซิสเตอร์ขับ

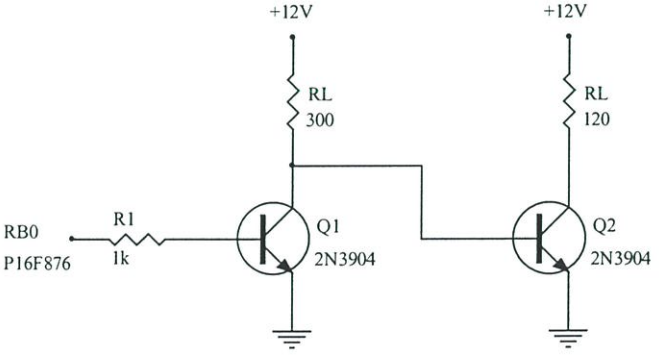
การใช้ทรานซิสเตอร์ขับมีอยู่ 3 แบบ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ที่มีความแตกต่างกันของกระแสและแรงดันเพื่อรองรับโหลดที่มีความต้องการกระแสและแรงดันแตกต่างกัน

1. การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบเดียว จะเหมาะกับโหลดที่ต้องการกระแสและแรงดันปานกลางตั้งแต่ 30-200 มิลลิแอมป์ เช่น รีเลย์ (Relay) หรือว่าจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กการต่อวงจรโดยใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบเดี่ยวเป็นดังรูปที่ 10.2 ซึ่งเป็นการต่อทรานซิสเตอร์เข้ากับพอร์ตเอาต์พุต RB0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมีตัวต้านทาน R1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่ไหลเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 ทรานซิสเตอร์จะทำงานก็ต่อเมื่อที่ขา RB0 มีลอจิกเป็น “1” เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานจะเกิดกระแสไหลผ่าน RL กระแสโหลดสูงสุดเท่ากับ 40 มิลลิแอมป์



รูปที่ 10.2 วงจรขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์

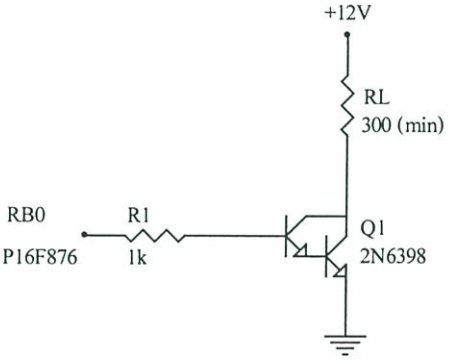
2. การใช้ทรานซิสเตอร์ขับแบบคาสเคด จะมีอัตราการทนกระแสคอลเล็กเตอร์ที่สูงแต่การขับกระแสแบบนี้จะทำให้ความเร็วในการทำงานช้ากว่าทรานซิสเตอร์ที่มีกำลังงานต่ำๆ ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วในการทำงานสูงเมื่อต้องนำมาขับโหลดที่มีกำลังปานกลางจึงต้องใช้การขับแบบคาสเคดโดยเราจะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์กระตุ้นทรานซิสเตอร์กำลังงานต่ำทำงานเพื่อไปขับให้ทรานซิสเตอร์กำลังงานปานกลางต่อไป ดังรูปที่ 10.3 เมื่อต้องการให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ทำงานต้องป้อนลอจิก “1” ออกทางขา RB0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้มีกระแสไหลผ่าน RL เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อกระตุ้นให้ Q2 ทำงานเกิดกระแสไหลผ่าน RL มีค่า 600 มิลลิแอมป์ ดังนั้นก็สามารถนำไปขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ขนาดเล็กได้



รูปที่ 10.3 วงจรขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่อแบบคาสเคด

3. การใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน เพื่อขับกระแสสูงๆ และมีความเร็วในการทำงานสูงด้วยการใช้ทรานซิสเตอร์แบบนี้จะมีทรานซิสเตอร์ 2 ตัวที่ต่อกันแบบดาร์ลิงตันภายในตัวถังเดียวกัน ทำให้ประหยัดอุปกรณ์และวงจรมีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 10.4 ทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งเป็น

ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันสามารถขับกระแสได้สูงสุด 750 มิลลิแอมป์ โดยการต่อเข้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านตัวจำกัดกระแสเพียงตัวเดียวทำให้มีความเร็วในการทำงานสูง นอกจากนั้นยังสามารขับกระแสได้สูงพอสมควร



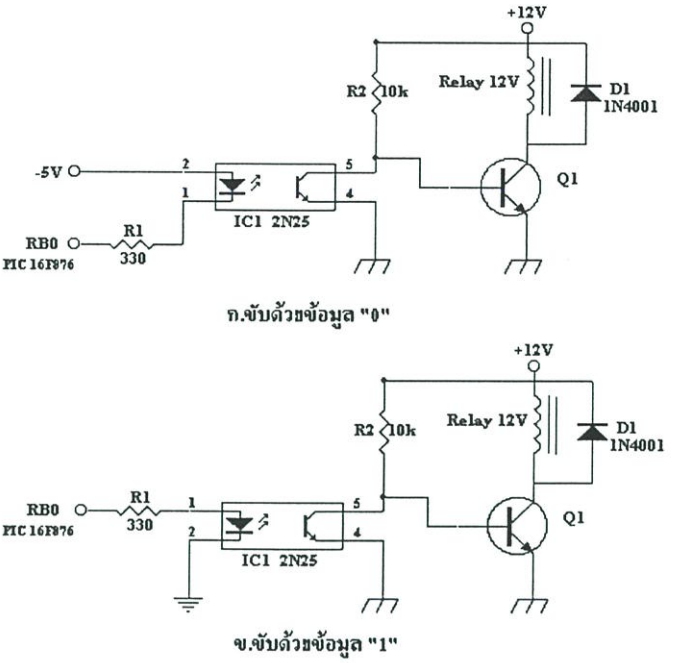
รูปที่ 10.4 วงจรขับโหลดโดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน

การขับโหลดโดยใช้ออปโต้คัปเปลอร์ (Opto-coupler)

ออปโต้คัปเปลอร์ มีการแบ่งส่วนอินพุตและส่วนเอาต์พุตออกจากกันทางไฟฟ้าการถ่ายทอดสัญญาณระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตจะใช้การเชื่อมโยงทางแสงเท่านั้นทำให้กราวด์ของอินพุตและเอาต์พุตไม่เชื่อมต่อกัน จึงทำให้การกำหนดให้ทางอินพุตเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรทางเอาต์พุตเป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 10.5 เป็นวงจรตัวอย่างของการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ขับออปโต้คัปเปลอร์เพื่อทำการขับโหลดรีเลย์กำลังไฟฟ้าสูง จะเห็นได้ว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กระตุ้นให้ออปโต้คัปเปลอร์ทำงานทำได้ 2 แบบคือ ใช้ลอจิก “0” ดังรูปที่ 10.5 ก. และใช้ลอจิก “1” ดังรูปที่ 10.5 ข.สเตปปิ้งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะการทำงานแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วไปเพราะจะต้องป้อนสัญญาณเป็นพัลส์ให้กับขดลวดเป็นจังหวะอย่างเหมาะสม และการหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้จะหมุนเป็นจังหวะตามพัลส์ที่ป้อนเข้ามาจะไม่หมุนต่อเนื่องเหมือนกับมอเตอร์ธรรมดา ทำให้เราสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดหมุนได้ จังหวะการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์เรียกว่า สเตป (Step) ความละเอียดของมอเตอร์กำหนดเป็นองศาต่อการหมุนไปในหนึ่งสเตป หากจำนวนองศาของมอเตอร์ต่อสเตปมาก หมายความว่า มอเตอร์ตัวนี้มีความละเอียดของการหมุนต่ำ

ขนาดของสเตปปิ้งมอเตอร์มีตั้งแต่ขนาดแรงดันต่ำ 3 โวลต์ ไปจนถึง 24 โวลต์ ส่วนขนาดของกระแสมีตั้งแต่ไม่กี่ 10 มิลลิแอมป์อันเป็นสเตปปิ้งมอเตอร์ตัวเล็กไปจนถึงเป็น 10 แอมป์ ซึ่งขนาดของมอเตอร์จะใหญ่ขึ้นตามลำดับ



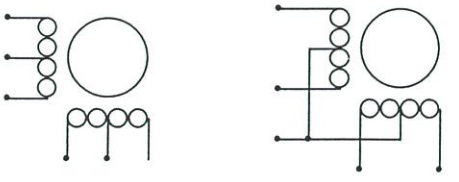
รูปที่ 10.5 วงจรการขับโหลดด้วยออปโต้คัปเปอร์

สเตปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์ (Uni-polar stepping motor)

สเตปปิ้งมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดและหาได้ง่ายคือ สเตปปิ้งมอเตอร์แบบยูนิโพล่าร์มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 10.6

สเตปปิ้งมอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดลวดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟสคือ เฟส 1,2,3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเตปปิ้งมอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 6 สายจะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์



แบบ 5 สาย 4 เฟส แบบ 6 สาย 4 เฟส

รูปที่ 10.6 การพันขดลวดของสเตปปิ้งมอเตอร์

การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปในแต่ละสเตปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ (Stater) ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียล (Sequential) ในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบเวฟ(Wave) , แบบ 2 เฟส (Two phase) และแบบครึ่งสเตป (Half wave)

แบบเวฟ เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1, 2, 3 และ 4 แล้ววนกลับมาที่ 1 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 4 แล้วย้อนกลับไปขดที่ 3, 2 และ 1 วนกลับไปเรื่อยๆ ซึ่งทำให้ทิศทางของการหมุนสวนทางกัน ในการกระตุ้นรูปแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและทำการกระตุ้นได้ง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ ดังตารางที่ 10.1

ตารางที่ 10.1 ลำดับการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้รับการกระตุ้นแบบเวฟ

สเตปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

แบบ 2 เฟส เป็นการกระตุ้นซึ่งคล้ายกับแบบเวฟแต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบเวฟ เช่นขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปก็เป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปก็เป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขดที่ 1 และ 2 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มจากที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ3 ต่อไปก็เป็นขดที่ 3 และ 2 ถัดไปก็เป็นขดที่ 2 และ 1 และวนกลับมาที่ 1 และ 4 วนไปเรื่อยๆ แต่การหมุนจะกลับทิศทางกัน การกระตุ้นแบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบแรก โรเตอร์ (Roter) จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงด้วย 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียในแบบนี้คือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆแสดงดังตารางที่ 10.2

ตารางที่ 10.2 ลำดับการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้รับการกระตุ้นแบบสองเวฟ

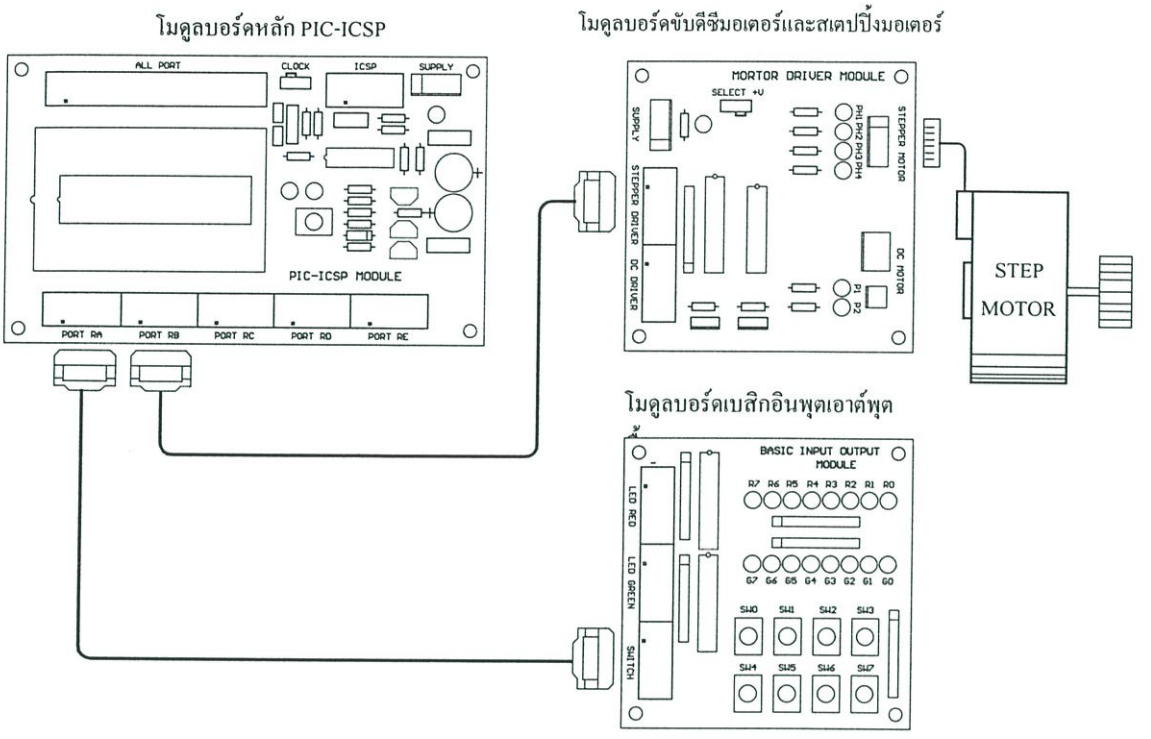
สเตปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

แบบครึ่งสเตป เป็นรูปแบบที่ผสมระหว่างแบบเวฟและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเตปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นที่ขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับโดยเริ่มจากขดลวดที่ 1, 1 และ 2, 2, 2 และ 3, 3, 3 และ 4, 4, 4 และ 1 และวนกลับมายังขดที่ 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเตปมีระยะสั้นลง แต่ละสเตปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องระวังไว้อีกอย่างหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเตป จึงจะได้เท่ากับระยะเท่ากับ 1 สเตปเต็มของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อยจึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆแสดงดังตารางที่ 10.3

ในการทดลองนี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะสเตปปิ้งมอเตอร์แบบเวฟ และแบบ 2 เฟส ซึ่งแบบครึ่ง สเตปนั้นก็จะคล้ายๆ กับ 2 แบบแรกรวมกัน ข้อมูลในการป้อนก็จะคล้ายๆกัน

ตารางที่ 10.3 ลำดับการทำงานของสเตปปิ้งมอเตอร์ได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเตป

สเตปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน



รูปที่ 10.7 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต และโมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์

```
            List p=16f876
            include "p16f876.inc"
            __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
COUNT1      equ     0x20
COUNT2      equ     0x21
DATA1       equ     0x23

            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x3F
            movwf   PORTA
            movlw   0x00
            movwf   PORTB
            bcf     STATUS,RP0
            bcf     STATUS,C
            clrf    PORTB

Sw1         btfsc   PORTA,0
            goto    Sw2
Again1      movlw   0x01
            movwf   DATA1
Loop1       movf    DATA1,W
            movwf   PORTB
            call    Delay
            btfsc   PORTB,3
            goto    Again1
            bcf     STATUS,C
            rlf     DATA1,F
            btfss   PORTA,1
            goto    Sw2
```

```
            goto    Loop1
Sw2         btfsc   PORTA,1
            goto    Sw1
Again2      movlw   0x08
            movwf   DATA1
Loop2       movf    DATA1,W
            movwf   PORTB
            call    Delay
            bcf     STATUS,C
            rrf     DATA1,F
            btfss   PORTA,W
            goto    Sw1
            btfss   STATUS,C
            goto    Loop2
            goto    Again2
;-------------------------------------- DELAY TIME
Delay       movlw   0x20
            movwf   COUNT1
Delay1      movlw   0xFF
            movwf   COUNT2
Delay2      decfsz  COUNT2,1
            goto    Delay2
            decfsz  COUNT1,1
            goto    Delay1
            return
            end
```

รูปที่ 10.8 โปรแกรมการขับสเตปปิ้งมอเตอร์

```
            List p=16f876
            include "p16f876.inc"
            __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
COUNT1      equ     0x20
COUNT2      equ     0x21
DATA1       equ     0x23
            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x3F
            movwf   PORTA
            movlw   0x00
            movwf   PORTB
            bcf     STATUS,RP0
            bcf     STATUS,C
            clrf    PORTB
Sw1         btfsc   PORTA,0
            goto    Sw2
Again1      clrf    COUNT1,F
Loop1       movf    COUNT1,W
            call    Table1
            bcf     STATUS,Z
            andlw   0xFF
            btfsc   STATUS,Z
            goto    Int01
            goto    Again1
Int01       movwf   PORTB
            incf    COUNT1,F
            goto    Loop1
Sw2         btfsc   PORTA,1
            goto    Sw1
Again2      clrf    COUNT2,F
Loop2       movf    COUNT2,W
            call    Table2
            bcf     STATUS,Z
            andlw   0xFF
            btfsc   STATUS,Z
```

```
            goto    Int02
            goto    Again2
Int02       movwf   PORTB
            incf    COUNT2,F
            goto    Loop2
;------------------------------------ Table Data
Table1      addwf   PCL,F
            dt      03, 06, 0c, 09, 00
Table2      addwf   PCH,F
            dt      03, 06, 0c, 09, 00
;------------------------------------ DELAY TIME
Delay       movlw   0x20
            movwf   COUNT3
Delay1      movlw   0xFF
            movwf   COUNT4
Delay2      decfsz  COUNT4,1
            goto    Delay2
            decfsz  COUNT3,1
            goto    Delay1
            return
            end
```

รูปที่ 10.9 โปรแกรมขับสเตปปิ้งมอเตอร์แบบ 2 เฟส

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 10.8 ทำการแอสเซมเบลอร์ แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 10.7
3. ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต สังเกตผลที่เกิดขึ้น
4. เมื่อกดสวิตช์ SW1 ผลที่ได้คือ

.....

.....

5. เมื่อกดสวิตช์ SW2 ผลที่ได้คือ

.....

.....

6. เขียนโปรแกรมรูปที่ 10.9 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
7. ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 10.7
8. ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต สังเกตผลที่เกิดขึ้น
9. เมื่อกดสวิตช์ SW1 ผลที่ได้คือ

.....

.....

10. เมื่อกดสวิตช์ SW2 ผลที่ได้คือ

.....

.....

11. เมื่อไม่มีการกดสวิตช์ใดๆ

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายการทำงานของโปรแกรมรูปที่ 10.8 มาพอเข้าใจ

2. จากโปรแกรมรูปที่ 10.8 เป็นการกระตุ้นและควบคุมการหมุนสเตปปิ้งมอเตอร์แบบเวฟ เพราะเหตุใด

3. จงเขียนโปรแกรมควบคุมเสต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเตปโดยมีระดับความเร็วของมอเตอร์ 4 ระดับคือ กด SW1 ให้หมุนช้า กด SW2 ให้หมุนเร็ว กด SW3 ให้หมุนเร็วขึ้น และกด SW4 จะหมุนเร็วที่สุด

เฉลยใบงานที่ 10
การเชื่อมต่อ PIC16F876 กับสเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

12.เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 10.8 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876

13.ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 10.7

14.ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต สังเกตผลที่เกิดขึ้น

15.เมื่อกดสวิตช์ SW1 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

16.เมื่อกดสวิตช์ SW2 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

17.เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 10.9 ทำการแอสเซมเบลอร์ จากนั้นเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876

18.ต่อสายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดตามรูปที่ 10.7

19.ทำการรันโปรแกรมบน PIC16F876 โดยการกดสวิตช์รีเซต สังเกตผลที่เกิดขึ้น

20.เมื่อกดสวิตช์ SW1 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

21. เมื่อกดสวิตช์ SW2 ผลที่ได้คือ

มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

คำถามท้ายการทดลอง

4. จงอธิบายการทำงานของโปรแกรมที่ 10.8 มาพอเข้าใจ

หลักการทำงานของโปรแกรมในรูปที่ 10.8 คือ กำหนดให้พอร์ต A เป็นอินพุตเพื่อตรวจสอบการกดสวิตช์โดยที่กดสวิตช์ SW1 จะหมุนไปในทิศทางหนึ่ง ในทางกลับกันกดสวิตช์ SW2 มอเตอร์ก็จะหมุนไปในทิศทางตรงข้ามและกำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุตเพื่อขับสเตปปิ้งมอเตอร์ ซึ่งเป็นแบบเวฟคือ ป้อน 1 ที่ละบิตเรียงกันไปเรื่อยๆ

5. จากโปรแกรมที่ 10.8 เป็นการกระตุ้นและควบคุมการหมุนสเตปปิ้งมอเตอร์แบบเวฟ เพราะเหตุใด

เป็นการกระตุ้นแบบเวฟเนื่องจากเป็นการป้อนข้อมูลที่พอร์ต B เป็นการป้อน 1 เพื่อไปกระตุ้นทีละขดลวดไล่เรียงกันไป ซึ่งตรงกับการกระตุ้นแบบเวฟของมอเตอร์ และจากโปรแกรมจะมีทั้งกระตุ้นให้มอเตอร์หมุนตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกา

6. จงเขียนโปรแกรมควบคุมเสต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเตปโดยมีระดับความเร็วของมอเตอร์ 4 ระดับคือกด SW1 ให้หมุนช้า กด SW2 ให้หมุนเร็ว กด SW3 ให้หมุนเร็วขึ้น และกด SW4 จะหมุนเร็วที่สุด

ทำโดยการเปลี่ยนข้อมูลในตารางเป็นข้อมูลของแบบครึ่งสเตปแทน

ใบงานที่ 11
การใช้งาน PIC16F876 แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

จุดมุ่งหมาย

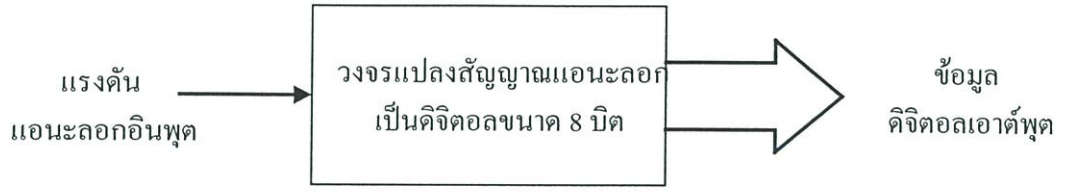
1. เพื่อให้สามารถอธิบายหลักการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลได้
2. เพื่อให้สามารถใช้งาน PIC16F876 ร่วมกับวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลในแบบต่างๆ ได้
3. เพื่อให้สามารถใช้งาน PIC16F876 ร่วมกับไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบอนุกรมได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
3. โมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล
4. โมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีตัวเลข 7 ส่วน
5. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
6. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP และคอมพิวเตอร์พีซีสายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

กระบวนการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลเป้นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณแอนะลอกกับข้อมูลตัวเลขที่ใช้แทนสัญญาณดิจิตอลในรูปที่ 11.1 เป็นแผนผังที่แสดงให้เห็นถึงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล ความแม่นยำของการแปลงจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของข้อมูลดิจิตอล วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลหรือวงจร ADC ขนาด n บิต จะเกิดข้อมูลดิจิตอลจำนวน 2^n ข้อมูล เช่น วงจร ADC 3 บิต ก็จะเกิดข้อมูลดิจิตอลทางเอาต์พุตทั้งสิ้น 8 ข้อมูลระยะห่างของข้อมูลแต่ละข้อมูลจะเป็นตัวกำหนดความแม่นยำของการแปลงสัญญาณซึ่งกระบวนการที่ทำหน้าที่ตีความระดับสัญญาณแอนะลอกว่าตรงกับระดับข้อมูลดิจิตอลใด เรียกว่า กระบวนการควอนไทซิ่ง (Quantizing)



รูปที่ 11.1 แผนผังการทำงานอย่างง่ายของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

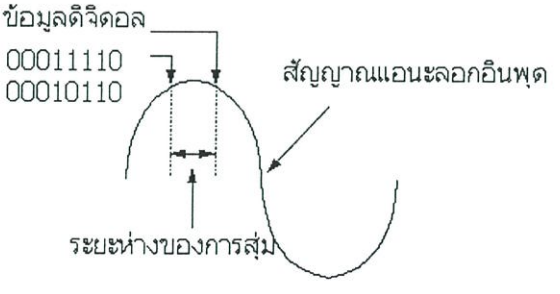
ระยะห่างของระดับข้อมูลดิจิตอลในวงจร ADC สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{ระยะห่างของระดับแรงดัน} = \text{VLSB} = V_{Fs} / 2^n \qquad (11.1)$$

เมื่อ V_{Fs} = แรงดันเต็มสเกลหรือแรงดันสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในวงจร ADC ปกติมีค่าเท่ากับไฟเลี้ยง

การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล สัญญาณจะถูกแปลงเป็นจำนวนดิจิตอล โดยการสุ่มหรือแซมปลิ้ง (Sampling) ดังรูปที่ 11.2 ถ้าสมมติมีเอาต์พุต 8 เส้น โดยเอาต์พุตแต่ละเส้นแสดงสถานะทางลอจิกเป็น 0 หรือ 1 จะมีความแตกต่างทางรหัสไบนารี (Binary) ทั้งหมด 2^8 หรือ 256 รหัส

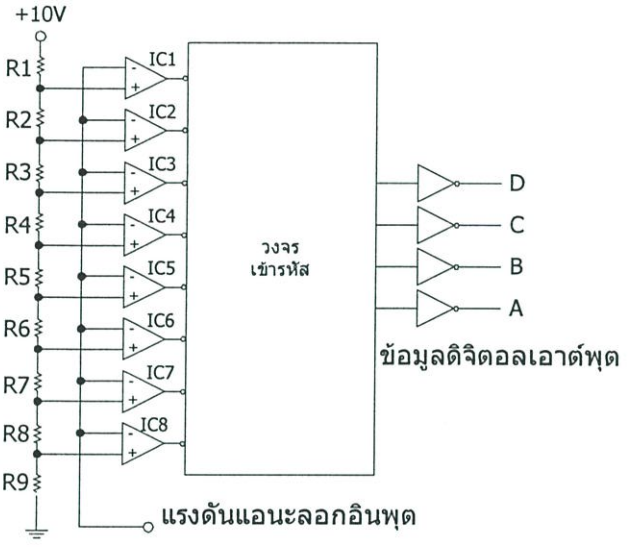


รูปที่ 11.2 การสุ่มสัญญาณแอนะลอกเพื่อกำหนดข้อมูลดิจิตอล

การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบต่างๆ มีดังนี้

1. แบบเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator ADC) มีหลักการคือ ใช้การเปรียบเทียบแรงดันระหว่างอินพุตกับแรงดันอ้างอิง จากนั้นวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะส่งสัญญาณสูงและต่ำซึ่ง

แทนผลการเปรียบเทียบเข้าสู่วงจรเข้ารหัส เพื่อกำหนดข้อมูลดิจิตอลทางเอาต์พุตต่อไปดังตัวอย่างตามรูปที่ 11.3 ซึ่งตัวต้านทาน R1-R9 กำหนดแรงดันอ้างอิงให้แก่ออปแอมป์ (Op-amp) IC1-IC8 ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง หากแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงที่จุดใดออปแอมป์ตัวนั้นก็จะทำงาน ให้เอาต์พุตเป็นแรงดันต่ำส่งไปยังวงจรเข้ารหัส ในทางตรงข้ามหากแรงดันอินพุตน้อยกว่าแรงดันอ้างอิงออปแอมป์จะไม่ทำงาน



รูปที่ 11.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบเปรียบเทียบแรงดัน

2. แบบวงจรนับแรมป์ (Simple Counter-Ramp ADC) จะมีแผนผังแสดงการทำงานดังรูปที่ 11.4 ซึ่งแบ่งเป็น 4 ส่วนคือ

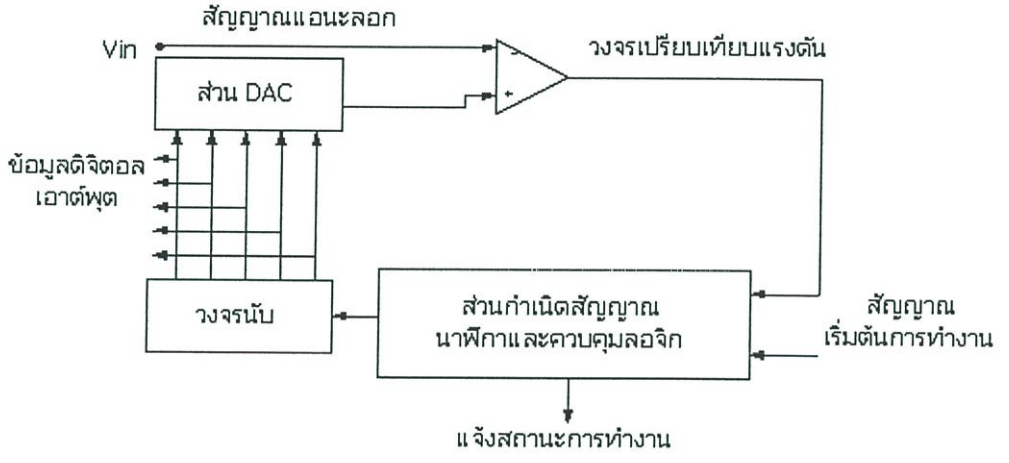
2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและควบคุมลอจิก (Clock & Control logic) ส่วนนี้จะได้รับสัญญาณให้เริ่มทำงาน แล้วส่งสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรนับ

2.2 วงจรนับ (Counter) ส่วนนี้จะทำการนับค่าตามสัญญาณนาฬิกาที่ส่งเข้ามาแล้วส่งต่อออกไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

2.3 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก (DAC) ในส่วนนี้จะแปลงค่าของการนับจากวงจรนับเป็นแรงดันไฟตรง เพื่อส่งออกไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

2.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) จะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันจากวงจร DACกับแรงดันแอนะลอกที่ส่งเข้ามาทางอินพุตของวงจร (Vin) หากยังไม่เท่ากันวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะส่งสัญญาณไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและส่วนควบคุมลอจิกให้ทำงานต่อไป เพื่อ

กระตุ้นให้วงจรนับ และวงจร DAC ทำงานจนกระทั่ง แรงดันจากวงจร DAC มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต วงจรเปรียบเทียบจะทำการส่งสัญญาณควบคุมให้วงจรทั้งหมดหยุดทำงาน ค่าของวงจรนับครั้งสุดท้ายคือผลลัพธ์จากวงจร ADC

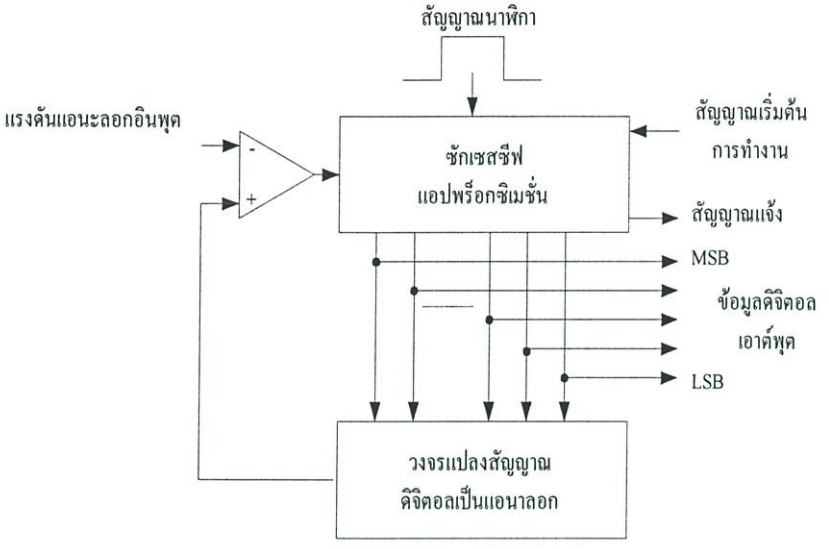


รูปที่ 11.4 แผนผังแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบวงจรนับแรมป์

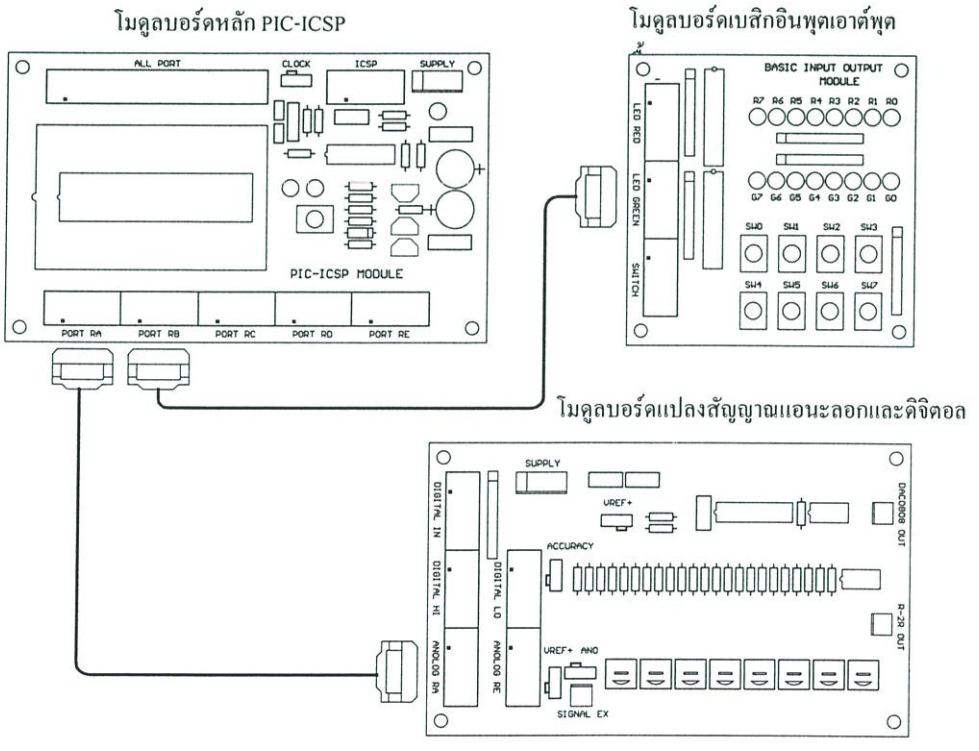
การแปลงสัญญาณแบบนี้มีข้อด้อยคือ มีความเร็วต่ำ เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแรงดันอินพุต หากแรงดันอินพุตมีค่ามาก เวลาที่ใช้ก็จะมากตาม

3. แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น (Successive approximation ADC) หรือการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียงดังรูปที่ 11.5 ส่วนที่สำคัญจะต้องมีวงจรเปรียบเทียบแรงดัน สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอกจิก ซึ่งจะเหมือนกับแบบวงจรนับแรมป์แต่แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นจะใช้รีจิสเตอร์ฐานสองแทนวงจรนับเลขฐานสอง แต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซตหรือรีเซตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม

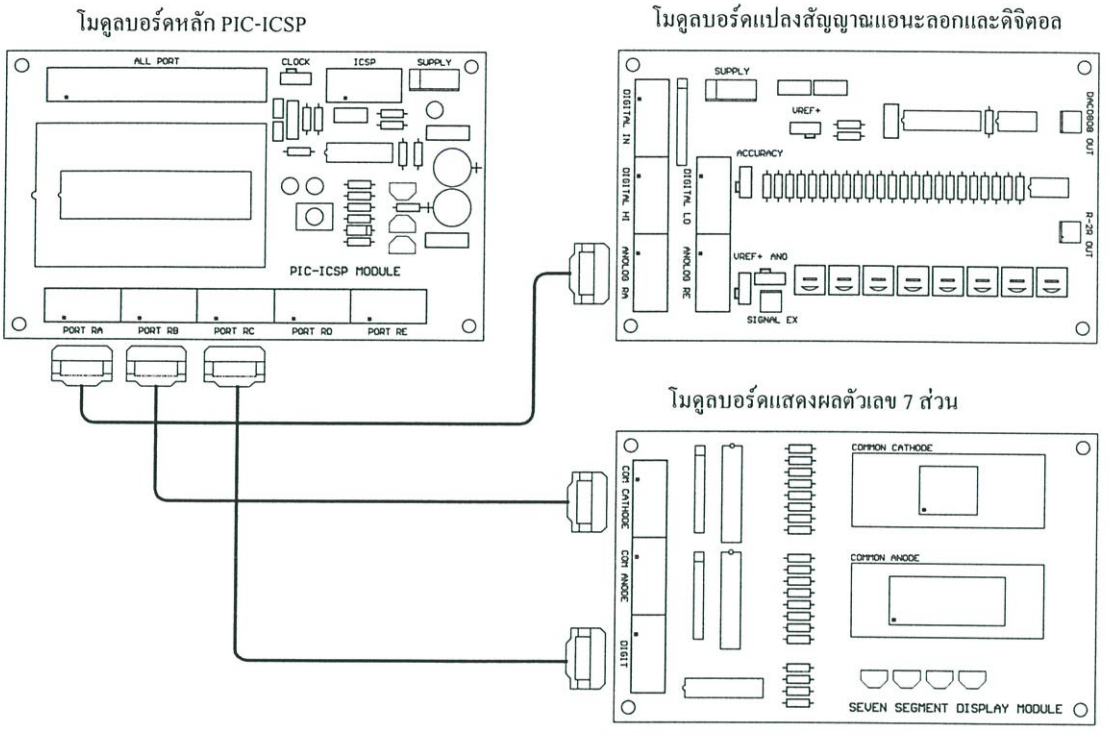
ความเที่ยงตรงของวงจร ADC เป็นการเปรียบเทียบแรงดันแอนะลอกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรจะเกิดขึ้นจริง ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time) เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรนับแรมป์และแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลจนเสร็จสิ้น พารามิเตอร์ตัวนี้มักจะปรากฏในคุณสมบัติของไอซีที่ทำงานเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีทำงานเสร็จสิ้นจะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End of conversion) ซึ่งค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจร, ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ และขนาดของสัญญาณแอนะลอกอินพุต



รูปที่ 11.5 แผนผังแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น



รูปที่ 11.6 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับโมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลและโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต



รูปที่ 11.7 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับโมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแสดงผลทางโมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน

```
     list p=16f877
     include "p16f877.inc"
   __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
              org      0x00
              bsf      STATUS,RP0
              movlw    0x0e
              movwf    ADCON1          ; Left Justified, Analog Bit0
              movlw    0xff
              movwf    TRISA
              clrf     TRISB
              bcf      STATUS,RP0
              movlw    b'01000001'     ; Fosc/8, Channel0, A/D On
              movwf    ADCON0
              clrf     PORTB
Start         btfsc    ADCON0,GO_DONE ; check DONE
              goto     Start
              movf     ADRESH,W        ; read adc result
              movwf    PORTB           ; mov to LED display
              bsf      ADCON0,GO_DONE ; set GO
              goto     Start
              end
```

รูปที่ 11.8 โปรแกรมแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล แสดงผลทาง LED ขนาด 8 บิต

```
            list p=16f876
            include "p16f876.inc"
            __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
B_ADRESH    equ     0x20
B_ADRESL    equ     0x21
Digit1      equ     0x22
Digit2      equ     0x23
Digit3      equ     0x24
Digit4      equ     0x25
B_Delay1    equ     0x26
Refresh1    equ     0x27
Refresh2    equ     0x28

            org     0x00
IniPort     bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x0e
            movwf   ADCON1          ; แอนะลอกบิด 0
movlw       0xff
            movwf   TRISA
            clrf    TRISB
            clrf    TRISC
            bcf     STATUS,RP0
            movlw   b'01000001'     ; สัญญาณนาฬิกา = Fosc/8, เลือกแชนเนล 0 และ A/D เปิด
            movwf   ADCON0
            clrf    PORTB
            clrf    PORTC
Start       call    ADConvt
            call    BinToBCD
            movlw   0x50
            movwf   Refresh1
            movlw   0xff
Refrsh1     movwf   Refresh2
            call    Display
Refrsh2     decfsz  Refresh2,F
            goto    Refrsh2
            decfsz  Refresh1,F
            goto    Refrsh1
            goto    Start

;_____________________________________การแปลง A to D
ADConvt     btfsc   ADCON0,2
            goto    ADConvt
            bsf     STATUS,RP0
            movf    ADRESL,W
            bcf     STATUS,RP0
            movwf   B_ADRESL
            movf    ADRESH,W
            movwf   B_ADRESH
            bsf     ADCON0,2
            return

;_____________________________________แสดงผลบน LED 7 segment
Display
            clrf    PORTB
            clrf    PORTC
            movlw   Digit1
            movwf   FSR
DP1         movf    INDF,W          ; หลักที่ 1
            call    Table7Seg

            movwf   PORTB
            call    Delay
            clrf    PORTB
            incf    FSR,F
            incf    PORTC,F
            btfss   PORTC,2
```

```
            goto    DP1
            clrf    PORTC
            return
Table7Seg   addwf   PCL,F
            dt      3f, 06, 5b, 4f, 66, 6d, 7d, 07
            dt      7f, 6f, 00, 40
            dt      0bf, 086, 0db, 0cf, 0e6, 0ed, 0fd, 087
            dt      0ff, 0ef, 080
;_____________________________________หน่วงเวลา
Delay       movlw   0x80
            movwf   B_Delay1
Dly0        decfsz  B_Delay1,F
            goto    Dly0
            return
            end
```

รูปที่ 11.9 โปรแกรมแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล 10 บิต แสดงผลเป็นเลข 0 ถึง 1023

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 11.8 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC 16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 11.6
3. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
4. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลาง
5. สังเกตผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

.....

6. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งซ้ายสุด
7. สังเกตผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

8. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งขวาสุด
9. สังเกตผลที่ได้เป็นดังนี้

.....

.....

10. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 11.9 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC 16F876
11. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลางเช่นเดียวกับข้อ 4

12. สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 4 เป็นดังนี้

.....

.....

13. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งซ้ายสุดเช่นเดียวกับข้อ 6
14. สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 6 เป็นดังนี้

.....

.....

15. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งซ้ายสุดเช่นเดียวกับข้อ 8
16. สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 8 เป็นดังนี้

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลทั้ง 3 แบบมาพอเข้าใจ
2. จงอธิบายหลักการทำงานโปรแกรมดังรูปที่ 11.8
3. จงเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบ 8 บิต แสดงผลทาง LED 7 segment

เฉลยใบงานที่ 11

การใช้งาน PIC16F876 แปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

17. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 11.8 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC 16F876
18. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 11.6
19. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
20. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลาง
21. สังเกตผลที่ได้เป็นดังนี้

LED จะแสดง "01110110" แปลงเป็นฐานสิบได้ 118

22.ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งซ้ายสุด

23.สังเกตผลที่ได้เป็นดังนี้

LED จะแสดง "00000000"

24. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งขวาสุด
25. สังเกตผลที่ได้เป็นดังนี้

LED จะแสดง "11111111" แปลงเป็นฐานสิบได้ 255

26. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 11.9 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC 16F876
27. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งกึ่งกลางเช่นเดียวกับข้อ 4.
28. สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 4. เป็นดังนี้

LED 7 segment จะแสดงเป็นตัวเลขฐานสิบ 125

29. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งซ้ายสุดเช่นเดียวกับข้อ 6.
30. สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 6. เป็นดังนี้

LED 7 segment จะแสดงเป็นตัวเลขฐานสิบ 0

31. ปรับตัวต้านทาน AN0 ไปที่ตำแหน่งซ้ายสุดเช่นเดียวกับข้อ 8.
32. สังเกตผลที่ได้เมื่อเทียบกับข้อ 8. เป็นดังนี้

LED 7 segment จะแสดงเป็นตัวเลขฐานสิบ 255

คำถามท้ายการทดลอง

4. จงอธิบายหลักการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลทั้ง 3 แบบมาพอเข้าใจ

หลักการพื้นฐานของการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลคือ จะต้องมีการแซมปลิ้งสัณฐาณแอนะลอกด้วยความถี่ที่มากกว่าความถี่ของสัญญาณเป็นสองเท่า แล้วทำการจัดระดับให้เข้ากับระดับของเลขฐานสองและจำนวนบิตของระบบ จากนั้นก็ทำการแปลงระดับสัญญาณให้เป็นเลขฐานสอง

5. จงอธิบายหลักการทำงานโปรแกรมดังรูปที่ 11.8

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลอยู่ภายใน สามารถทำการป้อนอินพุตที่เป็นแอนะลอกเข้าไป การเขียนโปรแกรมก็จะไปอ่านผลลัพธ์จากรีจีสเตอร์ที่ทำการแปลง แล้วนำออกแสดงผลยัง LED

6. จงเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบ 8 บิต แสดงผลทาง LED 7 segment

```
list p=16f876
include "p16f876.inc"
__config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC

B_ADRESH    equ     0x20
B_ADRESL    equ     0x21
Digit1      equ     0x22
Digit2      equ     0x23
Digit3      equ     0x24
Digit4      equ     0x25
B_Delay1    equ     0x26
Refresh1    equ     0x27
Refresh2    equ     0x28

            org     0x00
IniPort     bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x0e
            movwf   ADCON1              ; Left Justified, Analog Bit0
            movlw   0xff
            movwf   TRISA
            clrf    TRISB
            clrf    TRISC
            bcf     STATUS,RP0
            movlw   b'01000001'    ; Fosc/8, Channel0, A/D On
            movwf   ADCON0
            clrf    PORTB
            clrf    PORTC

Start       call    ADConvt
            call    BinToBCD
            movlw   0x50
            movwf   Refresh1
            movlw   0xff
Refrsh1     movwf   Refresh2
            call    Display
Refrsh2     decfsz  Refresh2,F
            goto    Refrsh2
            decfsz  Refresh1,F
            goto    Refrsh1
            goto    Start
```

```
;_____________________________________A to D Convertion
ADConvt     btfsc   ADCON0,2
            goto    ADConvt
            bsf     STATUS,RP0
            movf    ADRESL,W
            bcf     STATUS,RP0
            movwf   B_ADRESL
            movf    ADRESH,W
            movwf   B_ADRESH
            bsf     ADCON0,2
            return

;_____________________________________Convert ADResult Binary 10 Bit to BCD 4
Digit
BinToBCD    clrf    Digit1
            clrf    Digit2
            clrf    Digit3
            clrf    Digit4
Con0        movlw   0xfa                ; Digit4  ADResult - 1000
            subwf   B_ADRESH,W
            btfss   STATUS,C
            goto    Con1
            movlw   0xfa
            subwf   B_ADRESH,F
            incf    Digit4,F
            goto    Con0
Con1        movlw   0x19                ; Digit3  Remain - 100
            subwf   B_ADRESH,W
            btfss   STATUS,C
            goto    ConShift
            movlw   0x19
            subwf   B_ADRESH,F
            incf    Digit3,F
            goto    Con1
ConShift    rlf     B_ADRESL,F          ; Shift Left 2 Bit
            rlf     B_ADRESH,F
            rlf     B_ADRESL,F
            rlf     B_ADRESH,F
Con2        movlw   0x0a                ; Digit2  Remain - 10
            subwf   B_ADRESH,W
            btfss   STATUS,C
            goto    Con3
            movlw   0x0a
            subwf   B_ADRESH,F
            incf    Digit2,F
            goto    Con2
Con3        movf    B_ADRESH,W      ; Digit1  Remain
            movwf   Digit1
            return

;_____________________________________Display Seven Segmant 4 Digit
Display
            clrf    PORTB
            clrf    PORTC
            movlw   Digit1
            movwf   FSR
DP1         movf    INDF,W              ; Digit1
            call    Table7Seg
            movwf   PORTB
            call    Delay
            clrf    PORTB
            incf    FSR,F
            incf    PORTC,F
            btfss   PORTC,2
            goto    DP1
            clrf    PORTC
            return

Table7Seg   addwf   PCL,F
            dt      3f, 06, 5b, 4f, 66, 6d, 7d, 07
            dt      7f, 6f, 00
```

```
;_____________________________________________Delay
Delay       movlw    0x80
            movwf    B_Delay1
Dly0        decfsz   B_Delay1,F
            goto     Dly0
            return


            end
```

รูปที่ 11.1 เฉลยการเขียนโปรแกรมแปลงสัญญาณ A to D แสดงผลที่ Seven Segment

ใบงานที่ 12
การใช้งาน PIC16F876 กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอล เป็นสัญญาณแอนะลอก

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถอธิบายหลักการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกได้
2. เพื่อให้สามารถอธิบายความแตกต่างของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกชนิดต่างๆได้
3. เพื่อให้สามารถใช้งาน PIC16F876 กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบต่างๆ ได้

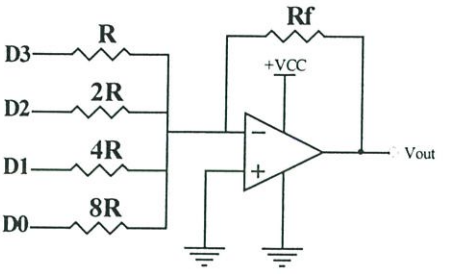
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณดิจิตอลและแอนะลอก
3. โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด
4. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB
5. สายเชื่อมต่อระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP และคอมพิวเตอร์พีซี
6. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

ในการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเราจะต้องสามารถพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ทุกรูปแบบและต้องสามารถทำงานกับสัญญาณดิจิตอลและแอนะลอกได้เป็นอย่างดี วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกจึงมีความจำเป็นอย่างมากในระบบควบคุม เช่น การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายที่สุดคือวิธีการที่เรียกว่า การกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน (weighted resistor) ดังแสดงตามรูปที่ 12.1 ซึ่งก็คือวงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier) นั่นเอง ซึ่งเป็นการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกขนาด 4 บิต



รูปที่ 12.1 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน 4 ตัวที่ต่ออนุกรมอินพุตจะมีค่าแตกต่างกันตามสัดส่วนที่กำหนดไว้คือ 1,2,4 และ 8 เช่น ถ้า R = 10 kΩ ตัวต้านทานตัวต่อไปต้องมีค่า 20 kΩ, 40 kΩ และ 80 kΩ เป็นต้น

แรงดันแอนะลอกทางเอาต์พุตสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$V_{out} = -(R_f / R_i) \times V_{in} \qquad (12.1)$$

โดยที่ R_i คือค่าของตัวต้านทานอินพุต

V_{in} คือแรงดันอินพุทซึ่งมีด้วยกัน 2 ค่า คือ 0 และ 5 โวลต์

วงจร DAC อีกแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมคือแบบ R-2R ladder ทั้งนี้เนื่องจากสามารถหาอุปกรณ์ในการสร้างวงจรง่าย หมายความว่าหากต่อพ่วงวงจรตัวต้านทานเข้าไปอีกหลายสาขาก็จะทำให้กระแสถูกเฉลี่ยมากขึ้น เหมือนกับการสร้างบันไดของกระแสทีละขั้น ด้วยอัตราส่วนของตัวต้านทานที่คงที่คือ R และ 2R จากนั้นนำวงจร R-2R ladder นี้ต่อเข้ากับวงจรแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันโดยใช้ออปแอมป์ ดังในรูปที่ 12.2

การคำนวณหาค่า V_{out} เป็นดังนี้

$$V_{out} = -I_{in} \times R_f \qquad (12.2)$$

$$V_{out} = -\left(\frac{D3}{2} + \frac{D2}{4} + \frac{D1}{8} + \frac{D0}{16} \right) \times \frac{V_{in}}{R} R_f \qquad (12.3)$$

เมื่อ Vin คือ ค่าแรงดันสูงสุดของอินพุต

Iin คือ ผลรวมของกระแสที่ได้จากวงจร R-2R ladder

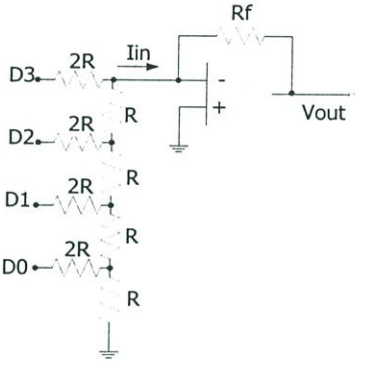
ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อสัญญาณอินพุต D3-D0 เป็น 1111 แรงดันอินพุตมีขนาด 5 โวลต์ Rf = R

Vout = -(0.5+0.25+0.125+0.0625) x 5 V

= -(0.9375) x 5V

= -4.6875 V



รูปที่ 12.2 พื้นฐานของวงจร R-2R ladder

จะเห็นว่า การใช้วงจร DAC แบบ R-2R ladder จะมีข้อดีคือ หาตัวต้านทานได้ง่ายกว่าและกำหนดน้ำหนักตัวต้านทานคือ ใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่าในขณะที่แบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทานต้องใช้ตัวต้านทานหลายค่า และต้องมีค่าทวีคูณกันไปเรื่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้หาตัวต้านทานได้ยากขึ้นตามลำดับ

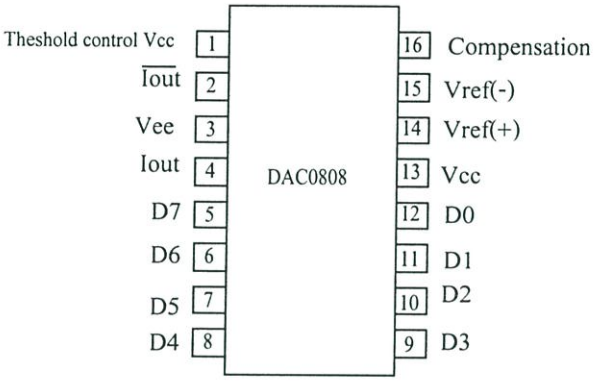
การใช้งาน PIC16F876 กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบ R-2R ladder

การต่อวงจร DAC แบบ R-2R ladder จะใช้พอร์ต B ทั้ง 8 บิตเป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณดิจิตอลเข้าสู่วงจร R-2R ladderเพื่อทำการแปลงสัญญาณเป็นแอนะลอกทางเอาต์พุต Vout

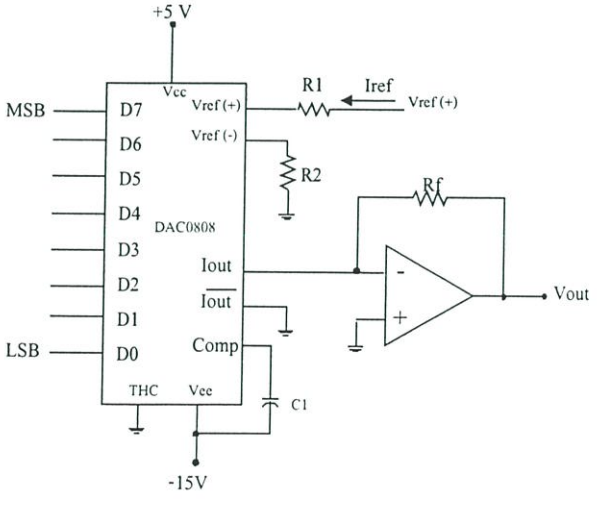
เนื่องจากข้อมูลที่ส่งออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มีขนาด 8 บิตจึงทำให้เกิดค่าการเปลี่ยนแปลง 2^8 เท่ากับ 256 ค่า ถ้าค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดบวก 5 โวลต์ ความละเอียดของวงจร DAC แบบ R-2R ดังรูปที่ 12.2 นี้มีค่าเท่ากับ 5/256 = 0.0195 โวลต์

การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกโดยใช้ไอซี DAC0808

DAC0808 เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก ซึ่งมีแหล่งกำเหนิดกระแสอ้างอิงอยู่ภายในตัวไอซีดังรูปที่ 12.3 แสดงการจัดขาของ DAC0808 ขา 5 ถึงขา 12 เป็นขารับข้อมูลอินพุตแบบดิจิตอลขนาด 8 บิต ข้อมูลที่ป้อนเข้ามาจะถูกแปลงเป็นกระแส Iout ออกทางขา 4

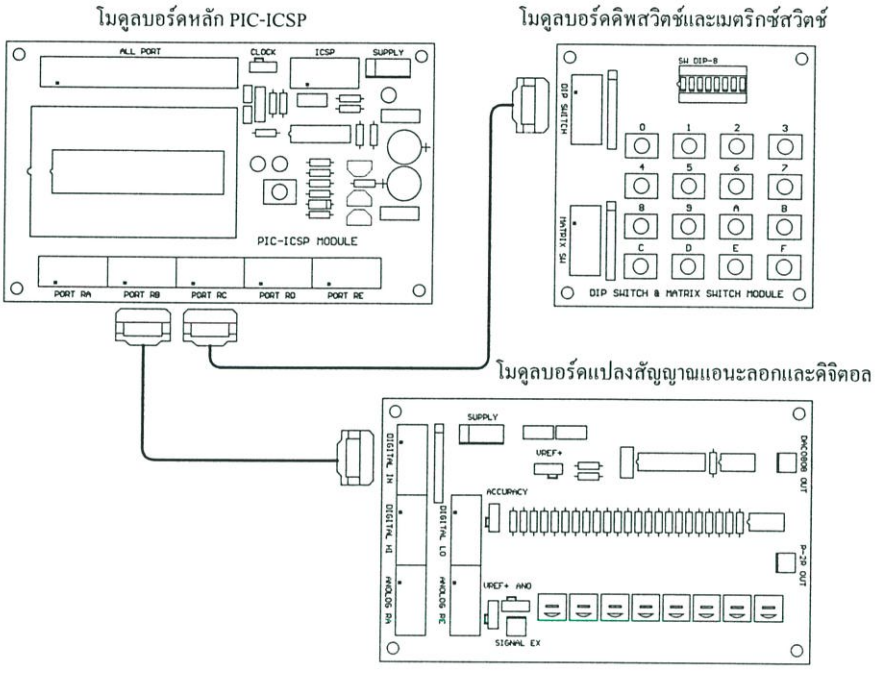


รูปที่ 12.3 การจัดขาของไอซี DAC0808



รูปที่ 12.4 วงจรเพื่อการใช้งานเบื้องต้นของไอซี DAC0808

จากรูปที่ 12.4 แสดงวงจรใช้งานเบื้องต้นของไอซี DAC0808 ที่ต่อเป็นตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ตัวต้านทาน R1 คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อกำหนดค่ากระแสอ้างอิงให้มีค่าเท่ากับ 2 มิลลิแอมป์ ตัวต้านทาน R2 มีค่าเท่ากับตัวต้านทาน R1 ต่อเพื่อชดเชยกระแสอินพุตภายในไอซี กระแสเอาต์พุตออกทางขา4 นำไปแปลงเป็นแรงดันด้วยไอซีออปแอมป์จากสูตร



รูปที่ 12.5 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP เข้ากับโมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตช์และโมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอล

```
    list p=16f876
    include "p16f876.inc"
    __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC

              org       0x00
              bsf       STATUS,RP0
              movlw     0xff
              movwf     TRISC
              clrf      TRISB
              bcf       STATUS,RP0

  Start       movf      PORTC,W         ; read dip switch
              Movwf     PORTB           ; mov digital signal to DAC
              Goto      Start

              End
```

รูปที่ 12.6 โปรแกรมการทดลองแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 12.6 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 12.5
3. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
4. ทำการกดดิพสวิตช์ และสังเกตการแสดงผลที่โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด

ตารางที่ 12.1 ผลการกดดิพสวิตช์เมื่อใช้วงจร DAC

ลำดับที่	การกดสวิตช์	แสดงผล
1	00000000	
2	00000011	
3	00000110	
4	00001100	
5	00011000	
6	00110000	
7	01100000	
8	11000000	

5. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง แต่เปลี่ยนคอนเนคเตอร์ในโมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณจากวงจร DAC0808 เป็น R-2R ladder

6. ทำการกดดิพสวิตช์และสังเกตค่าแรงดันในโมดูลบอร์ดเครื่องมือวัดเทียบกับการทดลองข้อ 4

ตารางที่ 12.2 ผลการกดดิพสวิตช์เมื่อใช้วงจร R-2R ladder

ลำดับที่	การกดสวิตช์	แสดงผล
1	00000000	
2	00000011	
3	00000110	
4	00001100	

ตารางที่ 12.2 (ต่อ) ผลการกดดิพสวิตช์เมื่อใช้วงจร R-2R ladder

5	00011000	
6	00110000	
7	01100000	
8	11000000	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายโปรแกรมดังรูปที่ 12.6

2. จงอธิบายหลักการทำงานของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบ R-2R Ladder มาพอเข้าใจ

3. จงอธิบายความแตกต่างของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบที่ใช้ไอซี DAC0808 และแบบ R-2R Ladder มาพอเข้าใจ

เฉลยใบงานที่ 12
การใช้งาน PIC16F876 กับวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอล เป็นแอนะลอก

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

7. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 12.6 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
8. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 12.5
9. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
10. ทำการกดดิพสวิตช์ และสังเกตการแสดงผลที่โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด

ตารางที่ 12.1 ผลการกดดิพสวิตช์เมื่อใช้วงจร DAC

ลำดับที่	การกดสวิตช์	แสดงผล
1	00000000	0
2	00000011	0.05
3	00000110	0.10
4	00001100	0.25
5	00011000	0.55
6	00110000	1.15
7	01100000	2.25
8	11000000	4.50

11. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง แต่เปลี่ยนคอนเนคเตอร์ในโมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณจากวงจร DAC0808 เป็น R-2R Ladder

12. ทำการกดดิพสวิตช์ และสังเกตการแสดงผลที่โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัดเมื่อเทียบกับการทดลองข้อ 4.

ตารางที่ 12.2 ผลการกดดิพสวิตช์เมื่อใช้วงจร R-2R Ladder

ลำดับที่	การกดสวิตช์	แสดงผล
1	00000000	0
2	00000011	0.10
3	00000110	0.20
4	00001100	0.45
5	00011000	0.95
6	00110000	1.85
7	01100000	3.75
8	11000000	7.50

คำถามท้ายการทดลอง

4. จงอธิบายโปรแกรมดังรูปที่ 12.6

เป็นโปรแกรมรับข้อมูลจากดิพสวิตช์ส่งไปให้วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

5. จงอธิบายหลักการทำงานของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบ R-2R Ladder มาพอเข้าใจ

ทำโดยการนำสัญญาณดิจิตอลมาผ่านตัวต้านทานที่ต่อกับเป็นขั้นบันได สัญญาณที่ต้องผ่านตัวต้านทานมาก นั้นคือบิต LSB จะทำให้สัญญาณถูกลดทอนไปมาก ส่วนสัญญาณ LSB ผ่านค่าต้านทานน้อยก็จะทำให้ผลแรงดัน DC ที่ได้มีค่ามาก

6. จงอธิบายความแตกต่างของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบที่ใช้ไอซี DAC0808 และแบบ R-2R Ladder มาพอเข้าใจ

การแปลงโดยใช้วงจรทั้งสองแบบ จะไม่มีความแตกต่างในการใช้งานแต่แบบ ใช้ไอซีจะให้ผลที่ดีกว่า เนื่องจากสัญญาณรบกวนน้อย มีเสถียรภาพมากกว่า

ใบงานที่ 13
การใช้งาน PIC16F876 เชื่อมต่อกับโซลิดสเตทรีเลย์
(Solid State Relay : SSR)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถใช้งาน PIC16F876 รวมกับอุปกรณ์โซลิดสเตทรีเลย์ได้
2. เพื่อให้สามารถอธิบายข้อดีและข้อเสียของโซลิดสเตทรีเลย์ได้
3. เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการแสดงผลโดยผ่านอุปกรณ์โซลิดสเตทได้

ทฤษฎีเบื้องต้น

โซลิดสเตทรีเลย์หรือที่เรียกสั้นๆ ว่า SSR คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างหนึ่งที่เหมือนกับรีเลย์ไฟฟ้าเครื่องกลโดยปราศจากเครื่องกลที่เคลื่อนไหว โดยพื้นฐานแล้วโซลิดสเตทรีเลย์จะมีขั้วอินพุตและเอาต์พุตอย่างละ 2 ขั้ว ขั้วอินพุตเป็นขั้วสำหรับป้อนสัญญาณควบคุมหรือสัญญาณกระตุ้นเพื่อบังคับให้สวิตช์ทางเอาต์พุตปิดหรือเปิดโดยจะมีการแยกทางไฟฟ้าระหว่างขั้วอินพุตและเอาต์พุตซึ่งจะใช้แสงในการเชื่อมโยงด้วยแสง (Opto coupling)

โซลิดสเตทรีเลย์ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดที่สวิตช์ทางด้านเอาต์พุตเป็นแบบขั้วเดียวทางเดียวปกติเปิด (SPST : NO) ทั้งนี้สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากราคาต่อหน้าสัมผัสหนึ่งชุดยังคงสูงกว่าของรีเลย์ไฟฟ้ากลมาก เมื่อกล่าวถึงภาวะนำกระแสและภาวะไม่นำกระแสของโซลิดสเตทรีเลย์จะหมายถึง ภาวะที่ด้านอินพุตถูกกระตุ้น และไม่ถูกกระตุ้นจะทำการอ้างถึงรีเลย์แบบปกติเปิดเท่านั้น

คุณสมบัติทางด้านเอาต์พุตของโซลิดสเตทรีเลย์

1. กระแสโหลดสูงสุด (Maximum Load Current) กระแสสูงสุดที่โซลิดสเตทรีเลย์สามารถทนได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถในการระบายความร้อน เพราะว่ากระแสที่ทนได้อาจต่ำกว่าค่าที่ระบุก็ได้ ขึ้นอยู่กับแผ่นระบายความร้อนที่เลือกไว้ด้วย

2. กระแสโหลดต่ำสุด (Minimum Load Current) กระแสโหลดต่ำสุดจะต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้โซลิดสเตทรีเลย์จึงจะทำงาน

การทำงานของโซลิดสเตทรีเลย์แบ่งได้เป็น 2 ภาคใหญ่ๆ คือ

1. ภาคอินพุต จะเป็นภาครับสัญญาณจากการควบคุมมาทำงาน โดยเป็นการส่งผ่านสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ติดต่อซึ่งจะแยกกันในทางไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1.1 ใช้อุปกรณ์ทางออปติคอล (Optical แบบ Photo) เช่น อาจจะใช้ Photo resistor, Photo darlington, Photodiode, Photo SCR หรือ Photo transistor เป็นต้น ตัวอุปกรณ์จุเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาให้อยู่ในรูปของแสงไปควบคุมส่วนเอาต์พุตจะทำให้เป็นการตัดขาดระหว่างอินพุตและเอาต์พุตทางไฟฟ้า

1.2 ใช้อุปกรณ์ทรานฟอเมอร์ (Transformer) โดยจะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างอินพุตและออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) โดยมีการออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง 50 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 10 เมกะเฮิรตซ์ ในการส่งสัญญาณจากอินพุตไปยังเอาต์พุต

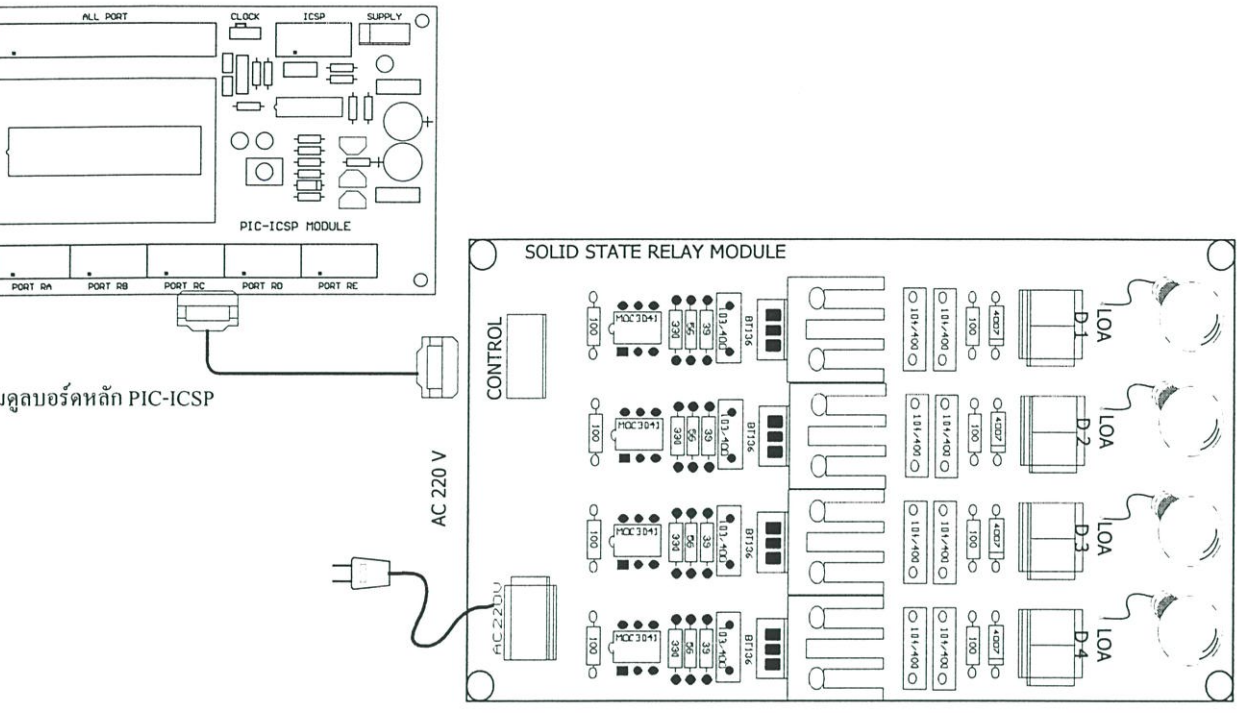
2. ภาคเอาต์พุต เป็นส่วนรับสัญญาณจากอินพุตซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแสงมาทำงาน โดยต่อวงจรหรือตัดวงจรโดยอุปกรณ์นี้อาจจะเป็นทรานฟอเมอร์, เอสซีอาร์ หรือไตรแอค ก็ได้

ข้อดีของโซลิดสเตทรีเลย์

1. การทำงานจะต่อวงจรที่แรงดัน (Voltage) ขณะเป็น 0 โวลต์ หรือใกล้จุด 0 โวลต์
2. มีอายุการใช้งานยาวนานมาก
3. ไม่มีเสียงเกิดขึ้นในเวลาทำงาน
4. สามารถต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ได้โดยง่าย
5. สามารถตัดต่อวงจรได้อย่างรวดเร็ว
6. ไม่มีส่วนเคลื่อนไหวทางเครื่องกลในการทำงาน
7. ไม่เกิดอาการ Bounce ที่หน้าสัมผัส
8. ไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อระบบไฟฟ้า

ข้อเสียของโซลิดสเตทรีเลย์

1. ไม่สามารถใช้งานกับวงจรที่มีแรงดันสูงมากๆ ได้
2. มีราคาแพง
3. ไม่สามารถใช้โซลิดสเตทรีเลย์สำหรับไฟสลับ (AC) หรือไฟตรง (DC) ได้ในตัวเดียวกัน
4. ขณะใช้งานจะเกิดความเร็วขึ้นที่ตัวโซลิดสเตทรีเลย์นั้นๆ จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ระบายความร้อน



รูปที่ 13.1 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP และโมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์

```
            List p=16f876
            #Include "p16f876.inc"
            __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
Count1      equ     0x20
Count2      equ     0x21

            org     0x00

            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x00            ;พอร์ต B เป็นเอาต์พุต
            movwf   PORTB
            bcf     STATUS,RP0      ;เคลียร์ STATUS

Start       movlw   0xff            ;LED ติดทุกดวง
            movwf   PORTB
            call    Delay
            movlw   0x00            ;LED ดับทุกดวง
            movwf   PORTB
            call    Delay
            goto    Start
;---------------------------------- หน่วงเวลา
Delay       movlw   0Xff
            movwf   Count1
Loop2       movlw   0Xff
            movwf   Count2
Loop1       decfsz  Count2,F
            goto    Loop1
            decfsz  Count1,F
            goto    Loop2
            return
            end
```

รูปที่ 13.2 โปรแกรมใช้ในการทดลองโซลิดสเตทรีเลย์

ลำดับขั้นตอนการการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 13.2 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 13.1
3. นำหลอดไฟ 4 ดวงมาต่อเข้ากับ LOAD1 ถึง LOAD4 ของโมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์
4. ทำการรันโปรแกรม โดยคลิกปุ่ม RUN
5. สังเกตหลอดไฟทั้ง 4 ดวง ผลเป็นดังนี้

.....

.....

6. จากโปรแกรมรูปที่ 13.2 ถ้าเปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0xff เป็น movlw 0xbb หลอดไฟทั้ง 4 ดวงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกข้อดีและข้อเสียของโซลิดสเตทรีเลย์มาพอเข้าใจ
2. จงเขียนโปรแกรมควบคุมให้หลอดไฟวิ่งจากซ้ายไปขวาเมื่อวิ่งครบแล้วให้วิ่งจากขวาไปซ้าย ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

เฉลยใบงานที่ 13
การใช้งาน PIC16F876 เชื่อมต่อกับโซลิดสเตทรีเลย์
(Solid State Relay : SSR)

ลำดับขั้นตอนการการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมดังรูปที่ 13.2 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 13.1
3. นำหลอดไฟ 8 ดวงมาต่อเข้ากับ LOAD1 ถึง LOAD8 ของโมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์
4. ทำการรันโปรแกรม โดยคลิกปุ่ม RUN
5. สังเกตหลอดไฟทั้ง 8 ดวง ผลเป็นดังนี้

หลอดไฟทุกดวงจะกระพริบ

6. จากโปรแกรมดังรูปที่ 13.2 ถ้าเปลี่ยนข้อมูลจาก movlw 0xff เป็น movlw 0xaa หลอดไฟทั้ง 8 ดวงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

หลอดไฟ 4 บิตบนและ 4 บิตล่างจะติดดับสลับกัน

คำถามท้ายการทดลอง

3. จงบอกข้อดีและข้อเสียของโซลิดสเตทรีเลย์มาพอเข้าใจ

ข้อดีของโซสิดสเตทรีเลย์คือ ไม่มีส่วนของกลไกทำให้อายุการใช้งานยาวนาน, สามารถทำงานที่ความเร็วได้

ข้อเสียคือ ราคาแพง ไม่สามารถใช้เปิดปิดแรงดันดีซีได้

4. จงเขียนโปรแกรมควบคุมให้หลอดไฟวิ่งจากซ้ายไปขวาเมื่อวิ่งครบแล้วให้วิ่งจากขวาไปซ้าย ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

```
            List p=16f876
            #Include "p16f876.inc"
            __config _WDT_OFF & _PWRTE_ON & _LVP_OFF & _XT_OSC
Count1      equ     0x20
Count2      equ     0x21
            org     0x00
            bsf     STATUS,RP0
            movlw   0x00            ;พอร์ต B เป็นเอาต์พุต
            movwf   PORTB
            bcf     STATUS,RP0      ;เคลียร์ STATUS
```

```
Start       movlw    0xff          ;LED ดิดทุกดวง
            movwf    PORTB
            call     Delay
            movlw    0x00          ;LED ดับทุกดวง
            movwf    PORTB
            call     Delay
            goto     Start
;---------------------------------- หน่วงเวลา
Delay       movlw    0Xff
            Movwf    Count1
Loop2       movlw    0Xff
            Movwf    Count2
Loop1       decfsz   Count2,F
            Goto     Loop1
            decfsz   Count1,F
            goto     Loop2
            return
            end
```

รูปที่ 13.1 เฉลยโปรแกรมใช้โซลิดสเตทรีเลย์ทำไฟวิ่ง

ใบงานที่ 14
การสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. เพื่อให้สามารถอธิบายหลักการสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แบบอนุกรม RS-232ได้
2. เพื่อให้สามารถใช้งานพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ได้
3. เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 เข้ากับกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS-232C ได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP
2. โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต
3. โมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม
4. คอมพิวเตอร์พีซีที่ติดตั้งโปรแกรม MPLAB และโปรแกรมสื่อสารข้อมูลอนุกรม MSCOM.EXE
5. สายเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์พีซีและโมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม
6. สายเชื่อมต่อพอร์ตระหว่างโมดูลบอร์ด

ทฤษฎีเบื้องต้น

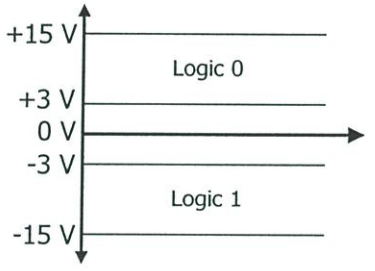
RS-232 นั้นเป็นระบบการส่งข้อมูลในรูปแบบอนุกรมคือ ข้อมูลจะส่งไปได้ทีละบิตโดยจะมีอัตราการส่งข้อมูลเป็นบิตต่อวินาทีหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาทีเรียกว่า Baud rate โดยจะมีการส่งบิตเริ่มต้น (Start Bit) มีระดับสัญญาณเป็น 0 และบิตข้อมูล (Data bit) ซึ่งจะมีข้อมูล 7 บิตหรือ 8 บิต และอาจตามด้วยบิตพาริตี้ (Parity bit) อาจจะเป็นแบบคู่ (Even) หรือแบบคี่ (Odd) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล บิตพาริตี้นั้นจะมีหรือไม่มีก็ได้และสุดท้ายจะต้องตามด้วยบิตหยุด (Stop bit) ซึ่งจะมีความกว้างของสัญญาณเป็น 1, 1.5, 2 บิตก็ได้ ซึ่งจะเห็นว่าในหารส่งข้อมูลแบบนี้จึงจำเป็นต้องมีข้อตกลงกันระหว่างการรับและการส่งคือ

1. ความเร็วในการส่ง Boud rate
2. จำนวนข้อมูล
3. มีบิตพาริตี้หรือ ถ้ามีจะเป็นแบบคู่หรือแบบคี่
4. จำนวนบิตหยุด 1, 1.5 หรือ 2 บิต

ในการส่งแบบ RS-232C นี้เราสามารถเลือก Baud rate ได้หลาย Baud rate เช่น 110, 200, 300, 1200, 2400, 4800, 9600 เช่นถ้าเราส่งข้อมูล 8 บิตโดย Boud rate 2400 แล้ว 1 บิตต้องใช้เวลา 1/2400 = 416 ไมโครวินาที

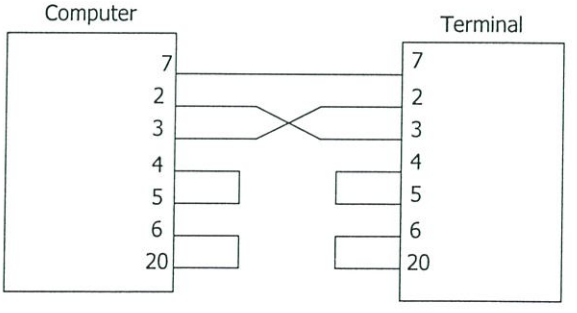
ลักษณะของสัญญาณ RS-232C

เพื่อให้การส่งข้อมูลสามารถไปได้ไกลขึ้นจึงกำหนดให้การส่งสัญญาณมีระดับความแตกต่างเป็นบวก 15 โวลต์ หรืออาจจะเป็นบวก 12 โวลต์ และลบ 12 โวลต์ก็ได้มีระดับสัญญาณลอจิกดังรูปที่ 14.1



รูปที่ 14.1 ระดับสัญญาณลอจิก RS-232C

การกำหนดจุดข้อต่อของ RS-232C



รูปที่ 14.2 การกำหนดจุดต่อของ RS-232C

สัญญาณของขาต่างๆ ที่ใช้งาน

ขาที่ 2 Transmit data

ขาที่ 3 Receive data เป็นขาที่ได้รับสัญญาณข้อมูลจากเครื่องอื่น

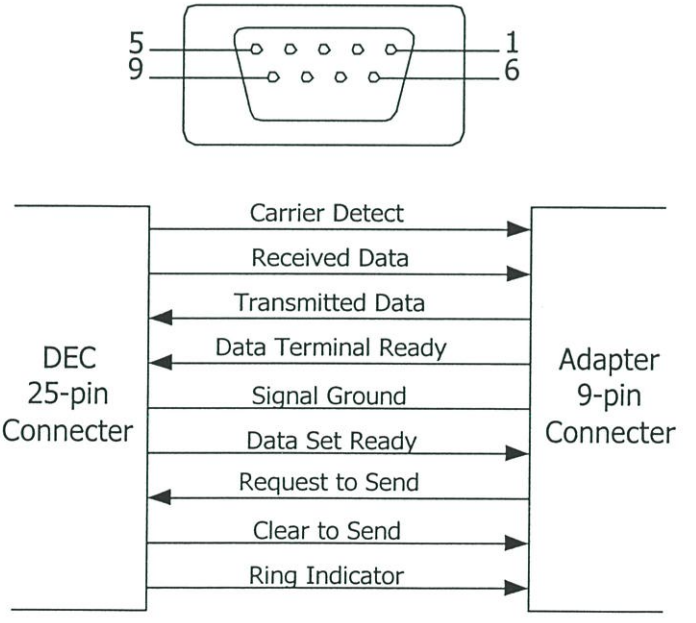
ขาที่ 4 Request to sent เป็นขาที่บอกเครื่องอื่นๆ ว่าตัวเองพร้อมที่จะส่งข้อมูล

ขาที่ 5 Clear to send เป็นขาที่บอกต่อเครื่องอื่นๆ ว่าตัวเองพร้อมที่จะรับข้อมูล

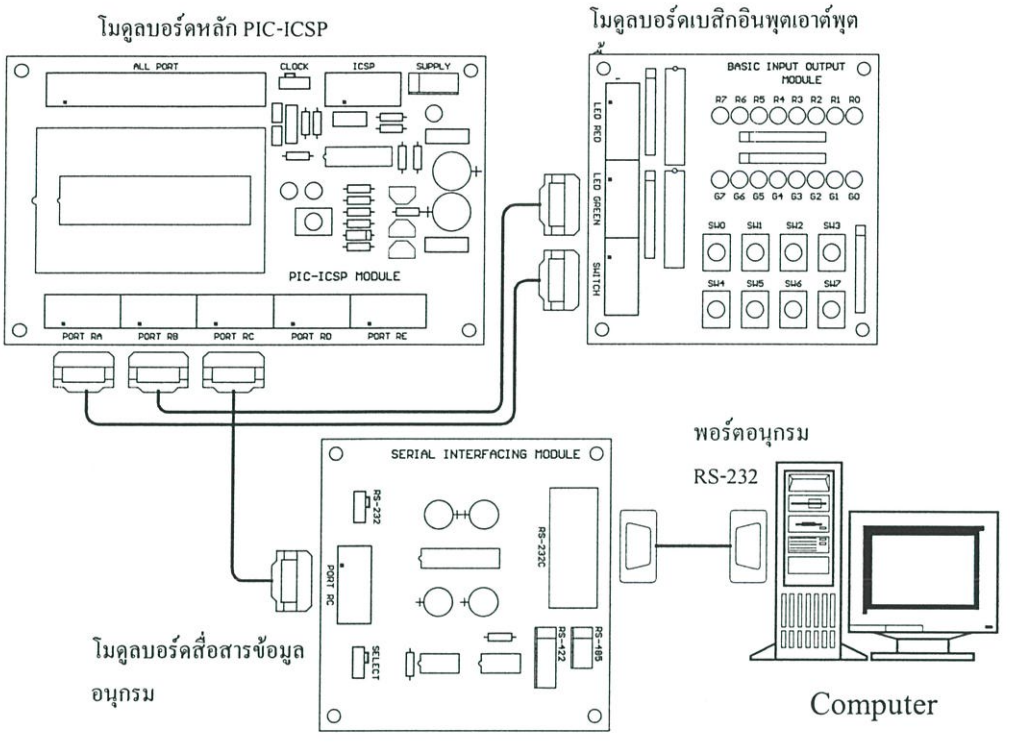
ขาที่ 6 Data set ready เป็นขาที่บอกไมโครคอมพิวเตอร์ว่าโมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วและพร้อมที่จะส่งได้แล้ว

ขาที่ 7 Signal ground เป็นขา GND ของสัญญาณ

ขาที่ 20 Data terminal ready เป็นขาบอกว่าโมเด็มไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะติดต่อด้วย โดยทั่วไปเราสามารถต่อใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ติดต่อกันทาง RS-232C ได้ง่ายๆ โดยใช้สัญญาณ Transmit data เพียง 2 เส้นโดยต่อได้ดังรูปที่ 14.3



รูปที่ 14.3 สัญญาณของขาต่างๆ ที่ใช้งาน



รูปที่ 14.4 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

```
    list p=16f876
    include "p16f876.inc"
  __config _PWRTE_ON & _WDT_OFF & _LVP_OFF & _XT_OSC
offset      equ     0x20
temp        equ     0x21
Dely1       equ     0x22
Dely2       equ     0x23
            ORG     0x00
init        bsf     STATUS,RP0      ; select bank 1
            movlw   0x06
            movwf   ADCON1
            movlw   0xff
            movwf   TRISA
            clrf    TRISB
            movlw   0x19            ; BAUDrate 2400 , (25 decimal)
            movwf   SPBRG
            clrf    TXSTA           ; 8bitsdata,no,1stop
            bcf     STATUS,RP0      ; select bank0
            bsf     RCSTA,SPEN      ; Asynchronous serial port enable
            bsf     RCSTA,CREN      ; continuous receive
            bsf     STATUS,RP0      ; select bank1
            bsf     TXSTA,TXEN      ; Transmit enable
            bcf     STATUS,RP0      ; select bank0
main        call    SendTitle
main2       call    Receive
            call    ScanSW
            goto    main2
SendTitle   clrf    offset          ; load offset of character table
Tit1        movf    offset,W
            call    TAB
            addlw   0x00            ; Character=00?
            btfsc   STATUS,Z        ; Character=00?
            return                  ; Yes,Z=1
```

```
            movwf   PORTB
            call    Sender
            call    Delay
            incf    offset,f
            goto    Tit1            ; Send again
;___________________________________ Sender
Sender      movwf   TXREG
            movlw   TXSTA
            movwf   FSR
wait1       btfss   INDF,1
            goto    wait1
            return                  ; TXREG empty or TRMT=1
;___________________________________ starttoreceive
    Receive btfss   PIR1,RCIF       ; Check RCIF bit on PIR1 register (Peripheral  interrupts)
            return                  ; RCREG empty or RCIF=0
            movf    RCREG,W         ; RCREG full or RCIF=1
            movwf   PORTB
            return
;___________________________________ Scan Switch
ScanSW      movlw   0x00
            btfsc   PORTA,0
            goto    Sc1
            movlw   0x30
Sc1         btfsc   PORTA,1
            goto    Sc2
            movlw   0x31
Sc2         btfsc   PORTA,2
            goto    Sc3
            movlw   0x32
Sc3         btfsc   PORTA,3
            goto    Sc4
            movlw   0x33
Sc4         btfsc   PORTA,4
            goto    Sc5
            movlw   0x34
Sc5         btfsc   PORTA,5
            goto    SEnd
            movlw   0x35
SEnd        addlw   0x00
            btfsc   STATUS,Z
            return
            call    Sender
Scw         movf    PORTA,W
            andlw   0x3f
            sublw   0x3f
            btfss   STATUS,Z
            goto    Scw
            return
;___________________________________ Tebelofmessage
TAB         addwf   PCL,F           ;Move offset to PC lower
            dt      "ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F8XX", 0a, 0d
            dt      "PIC16F8XX Experimentation Practice Set", 0a, 0d
            dt      "การสื่อสารข้อมูลอนุกรม RS-232", 0a, 0d
            dt      00
Delay       movlw   0x20
            movwf   Dely1
Delay2      movlw   0xff
            movwf   Dely2
Delay1      decfsz  Dely2,F
            goto    Delay1
            decfsz  Dely1,F
            goto    Delay2
            return
            end
```

รูปที่ 14.5 โปรแกรมรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 กับคอมพิวเตอร์

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมรูปที่ 14.5 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
2. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 14.4
3. เปิดโปรแกรมสื่อสารข้อมูลอนุกรม MSCOM.EXE
4. คลิกเมนู CommPort/Properties
5. เลือกพอร์ตอนุกรมที่ต่อสายสัญญาณข้อมูลอยู่
6. ทำการเลือก Maximum Speed = 2400, Data Bits = 8, Parity = None และ Stop bits = 1 จากนั้นคลิก OK
7. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
8. สังเกตที่โปรแกรมสื่อสารข้อมูลอนุกรม MSCOM.EXE

.....

.....

.....

9. ทดลองกดปุ่มตัวอักษรบนคีย์บอร์ด และสังเกตการแสดงผลได้จาก LED บนโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

ตารางที่ 14.1 ผลการกดคีย์ตัวอักษรบนคีย์บอร์ด

คีย์ที่กด	LED แสดงผล (ฐานสิบหก)
A	
K	
d	
h	
P	
e	
Z	

10. ทดลองกดสวิตช์ใดๆ บนโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต และสังเกตการแสดงผลบนโปรแกรมสื่อสารข้อมูลอนุกรม MSCOM.EXE

ตารางที่ 14.2 ผลการกดสวิตช์ที่โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

สวิตช์ที่กด	LED แสดงผล (ฐานสิบหก)
SW1	
SW2	
SW3	
SW4	
SW5	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายอธิบายหลักการสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้
2. ถ้าต้องการเปลี่ยน Baud rate ในการสื่อสารข้อมูลจะต้องเปลี่ยนค่าในรีจิสเตอร์ใด

เฉลยใบงานที่ 14
การสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

11. เขียนโปรแกรมรูปที่ 14.5 ทำการแอสเซมเบลอร์แล้วเขียนข้อมูลลงบน PIC16F876
12. ต่อสายเชื่อมต่อตามรูปที่ 14.4
13. เปิดโปรแกรมสื่อสารข้อมูลอนุกรม MSCOM.EXE
14. คลิกเมนู CommPort/Properties
15. เลือกพอร์ตอนุกรมที่ต่อสายสัญญาณข้อมูลอยู่
16. ทำการเลือก Maximum Speed = 2400, Data Bits = 8, Parlity = None และ Stop bits = 1 จากนั้นคลิก OK
17. ทำการรันโปรแกรม โดยการคลิกปุ่ม RUN
18. สังเกตที่โปรแกรมสื่อสารข้อมูลอนุกรม MSCOM.EXE

แสดงข้อความ "ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F8XX"
"PIC16F8XX Experimentation Practice Set"
"การสื่อสารข้อมูลอนุกรม RS-232"

19. ทดลองกดปุ่มตัวอักษรบนคีย์บอร์ด และสังเกตการแสดงผลได้จาก LED บนโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

ตารางที่ 14.1 ผลการกดคีย์ตัวอักษรบนคีย์บอร์ด

คีย์ที่กด	LED แสดงผล (ฐานสิบหก)
A	0x41
K	0x4B
D	0x64
H	0x68
P	0x50
M	0x6D
Z	0x5A

20. ทดลองกดสวิตช์ใดๆ บนโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต และสังเกตการแสดงผลบนโปรแกรม MSCOM.EXE

ตารางที่ 14.2 ผลการกดสวิตช์ที่โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุต

สวิตช์ที่กด	ผลที่ปรากฏบนโปรแกรม MSCOM.EXE
SW1	1
SW2	2
SW3	3
SW4	4
SW5	5

คำถามท้ายการทดลอง

3. จงอธิบายหลักการสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้

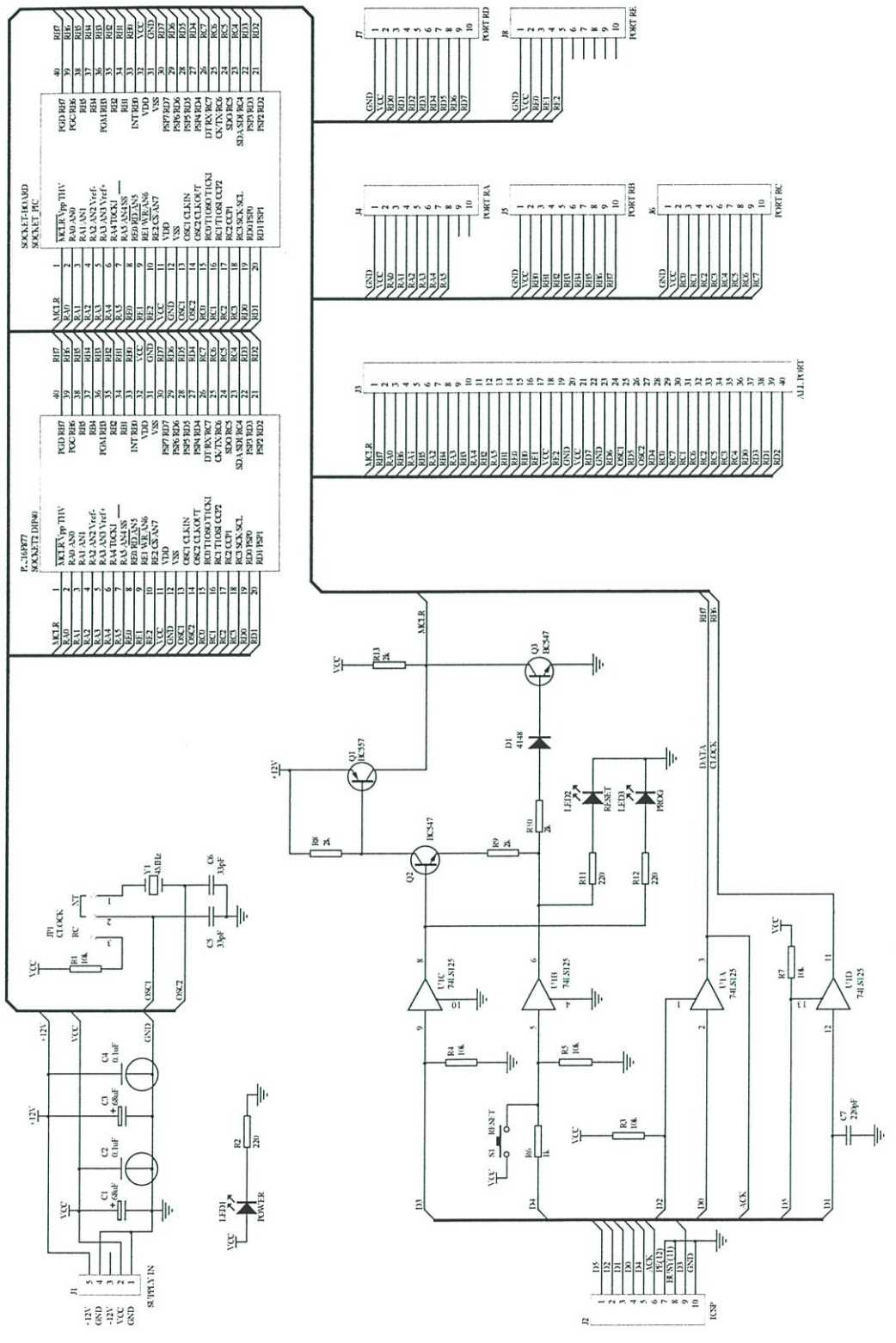
ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 มี USART สำหรับสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมทั้งแบบ Synchronous และแบบ Asynchronous ได้ ซึ่งสามารถกำหนดอัตราเร็วในการส่งข้อมูล และขาสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อ

4. ถ้าต้องการเปลี่ยน Baud rate ในการสื่อสารข้อมูลจะต้องเปลี่ยนค่าในรีจีสเตอร์ใด

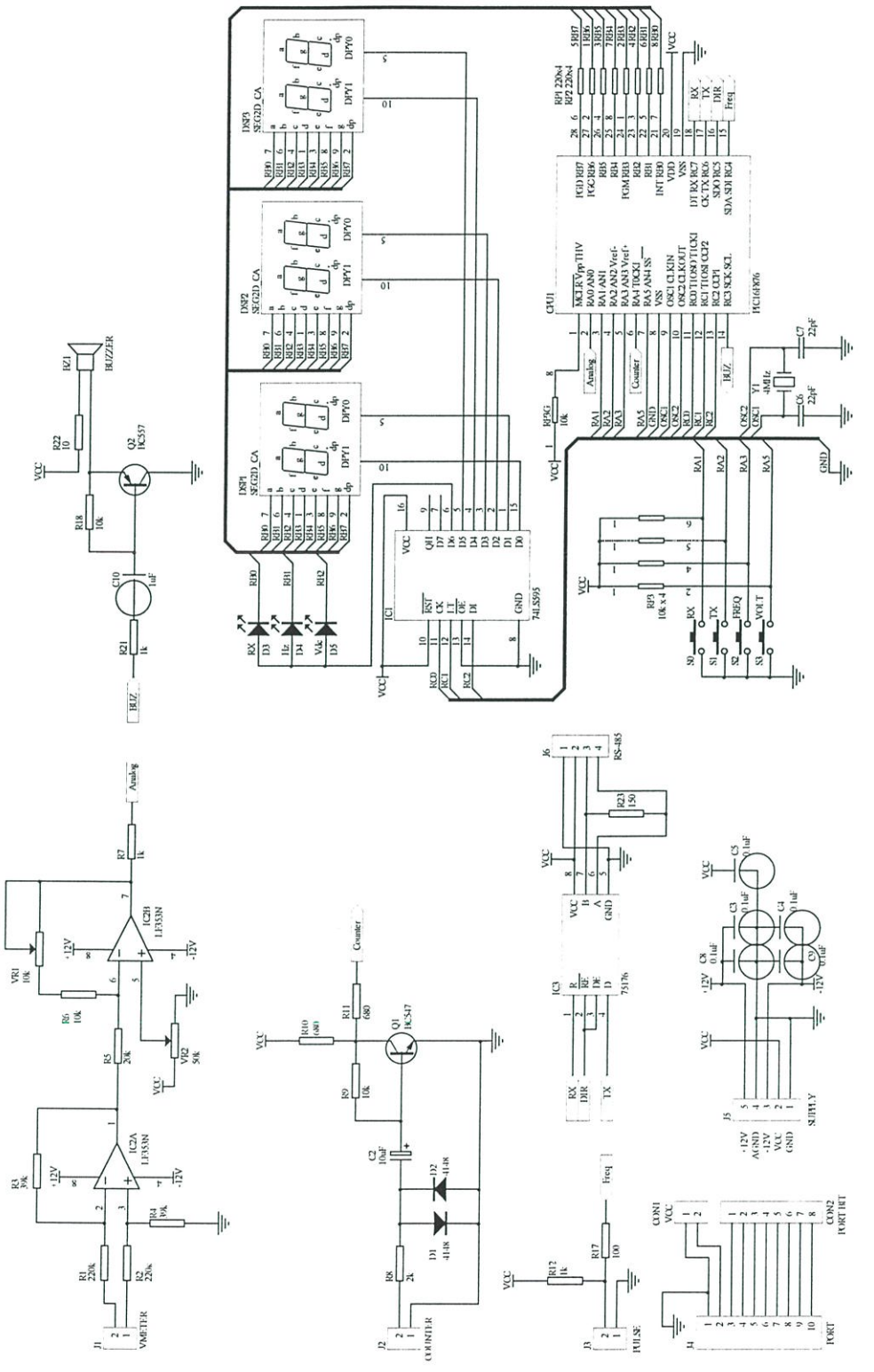
รีจีสเตอร์ SPBRG : Baud Rate Generator Register

ภาคผนวก ข

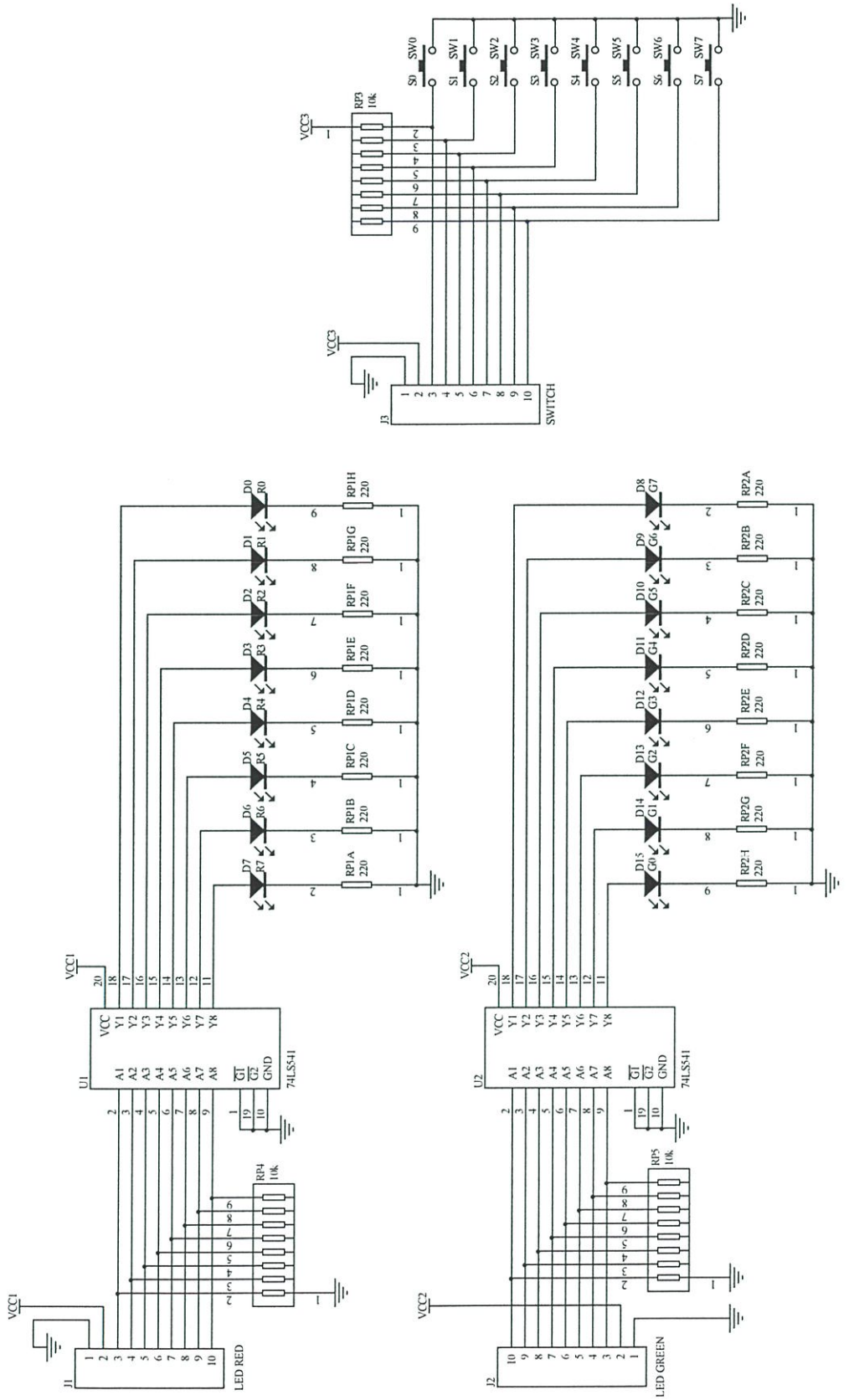
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์



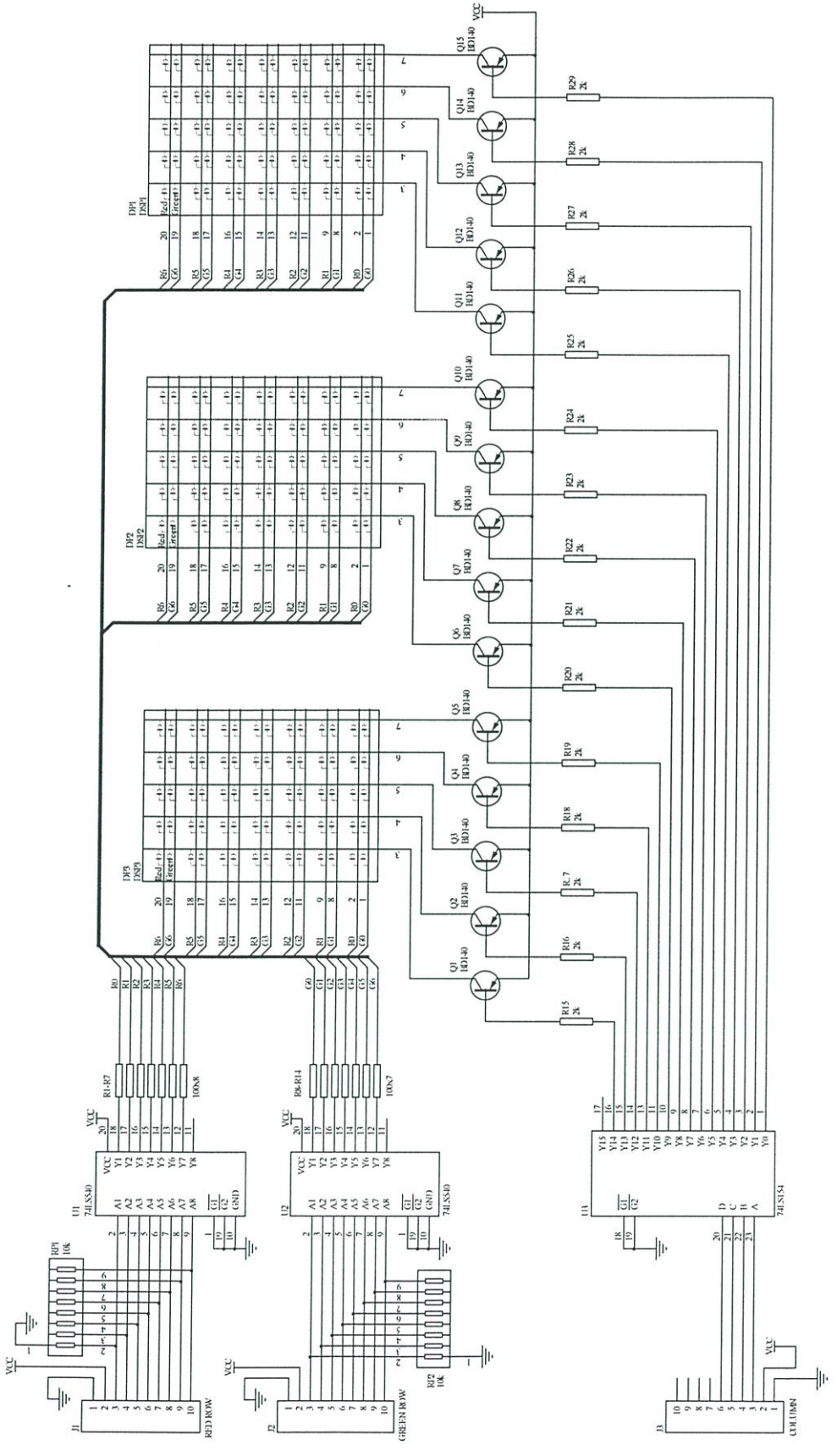
รูปที่ ข.1 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP



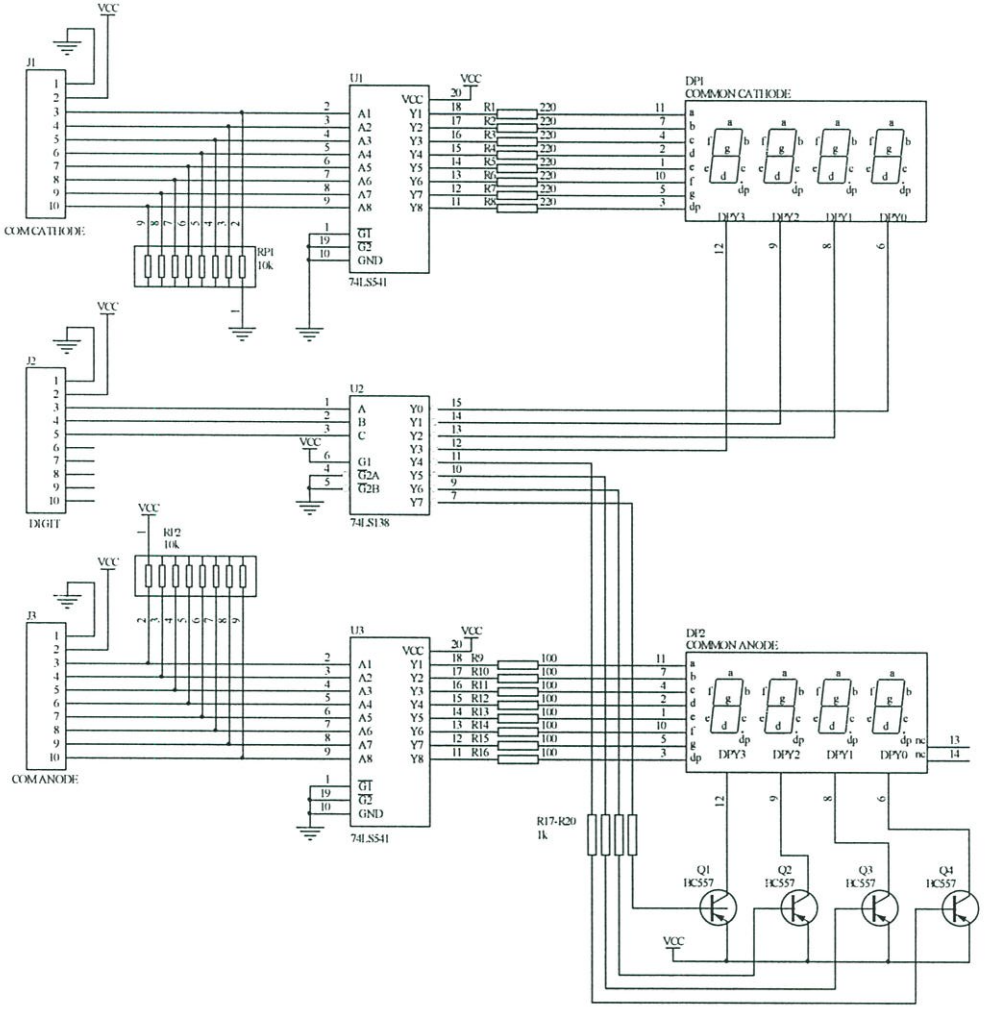
รูปที่ ข.2 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด



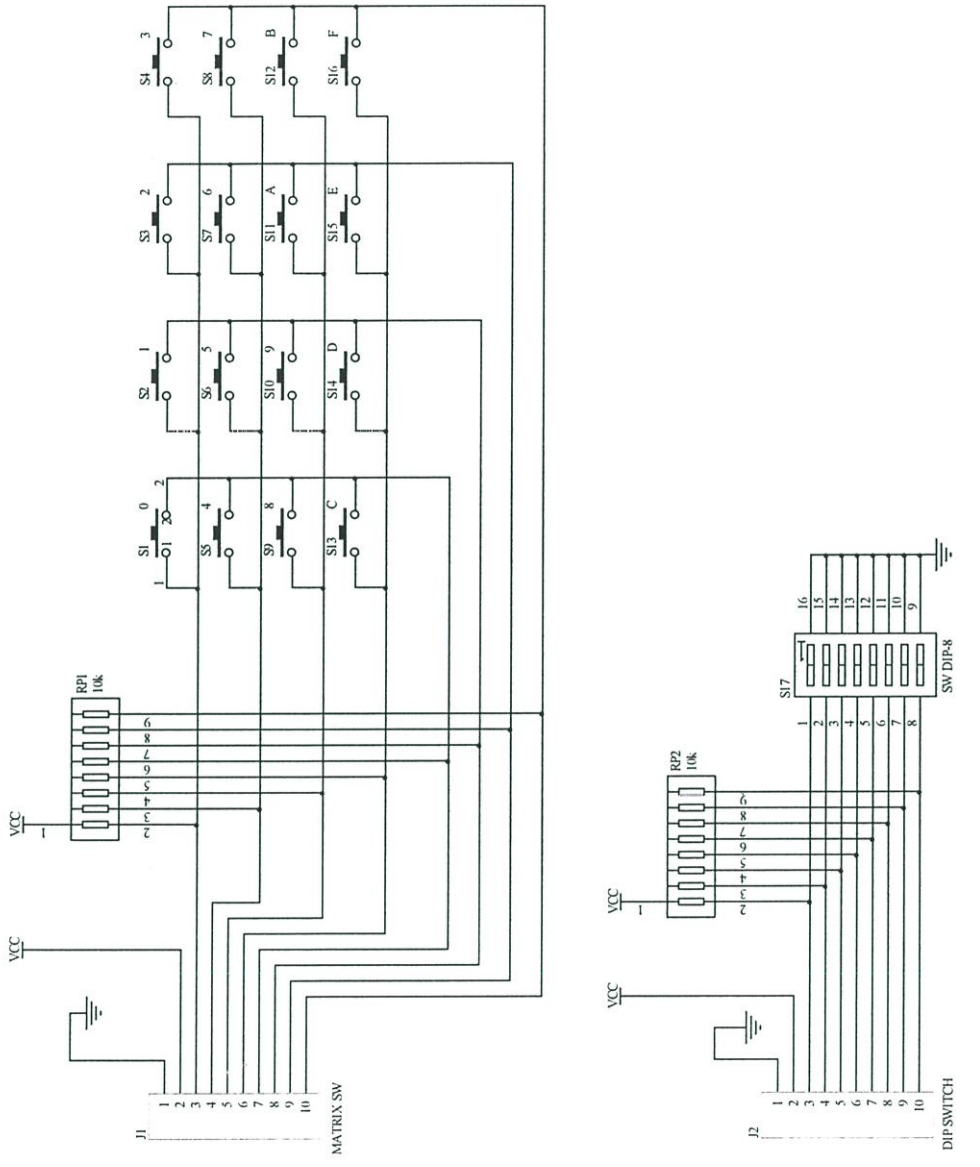
รูปที่ ข.3 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลอ่านเสกอินพุตเอาต์พุตขั้นพื้นฐาน



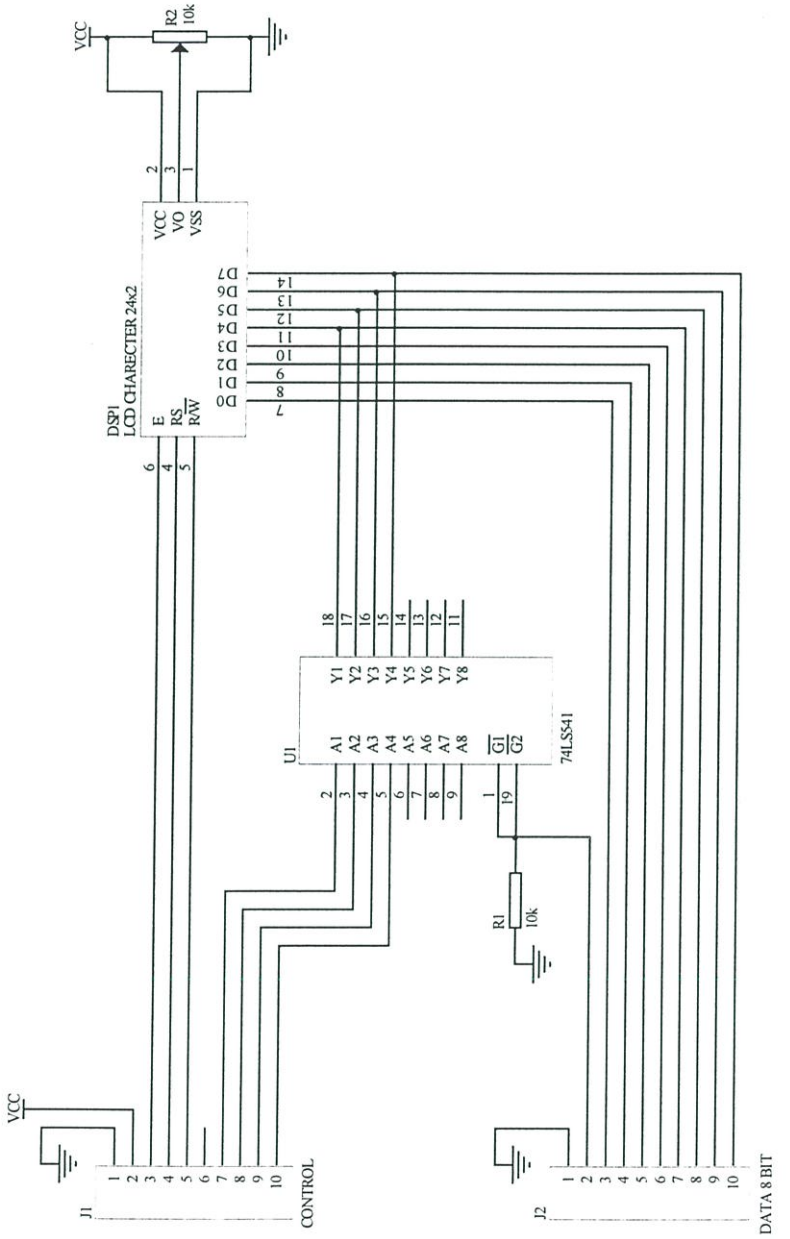
รูปที่ ข.4 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลอาร์เรย์แสดงผลแอลอีดีคอตเมตริกซ์



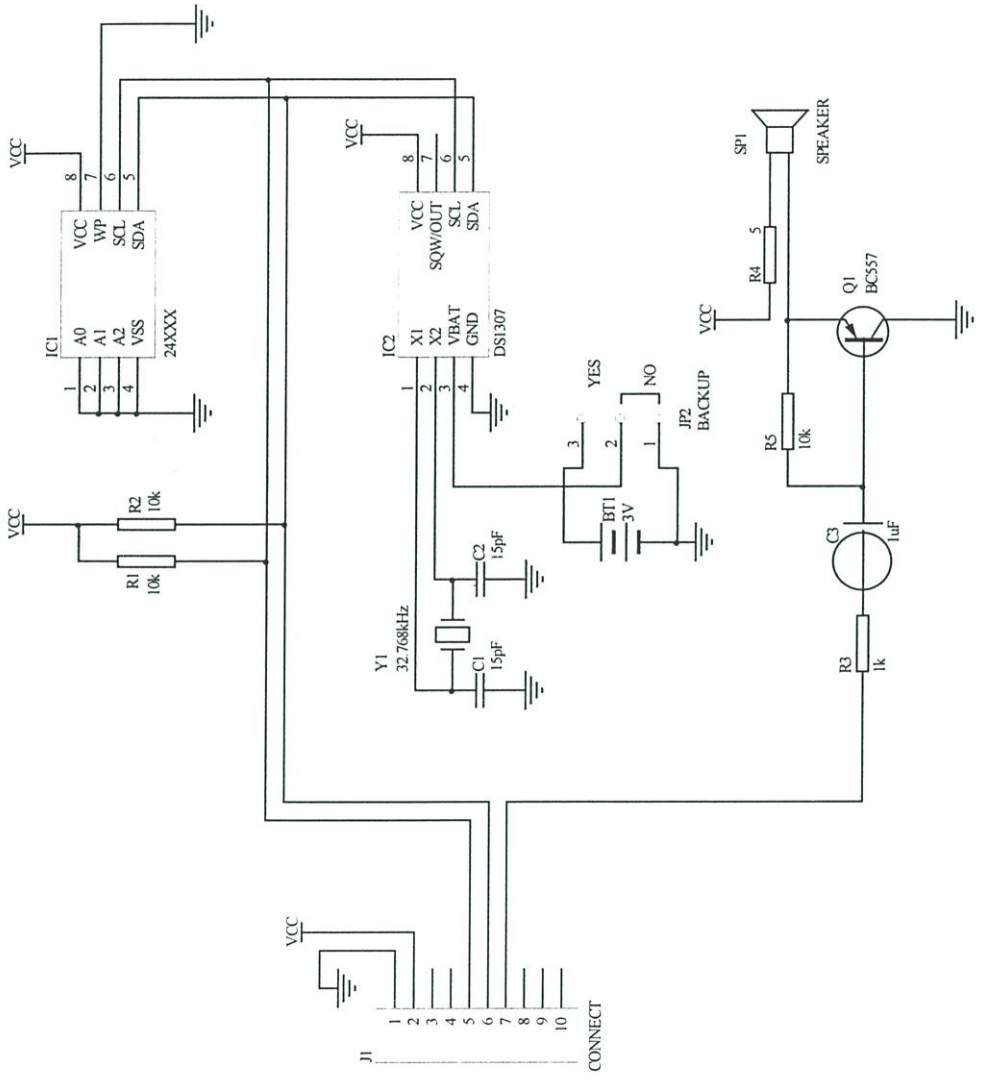
รูปที่ ข.5 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน



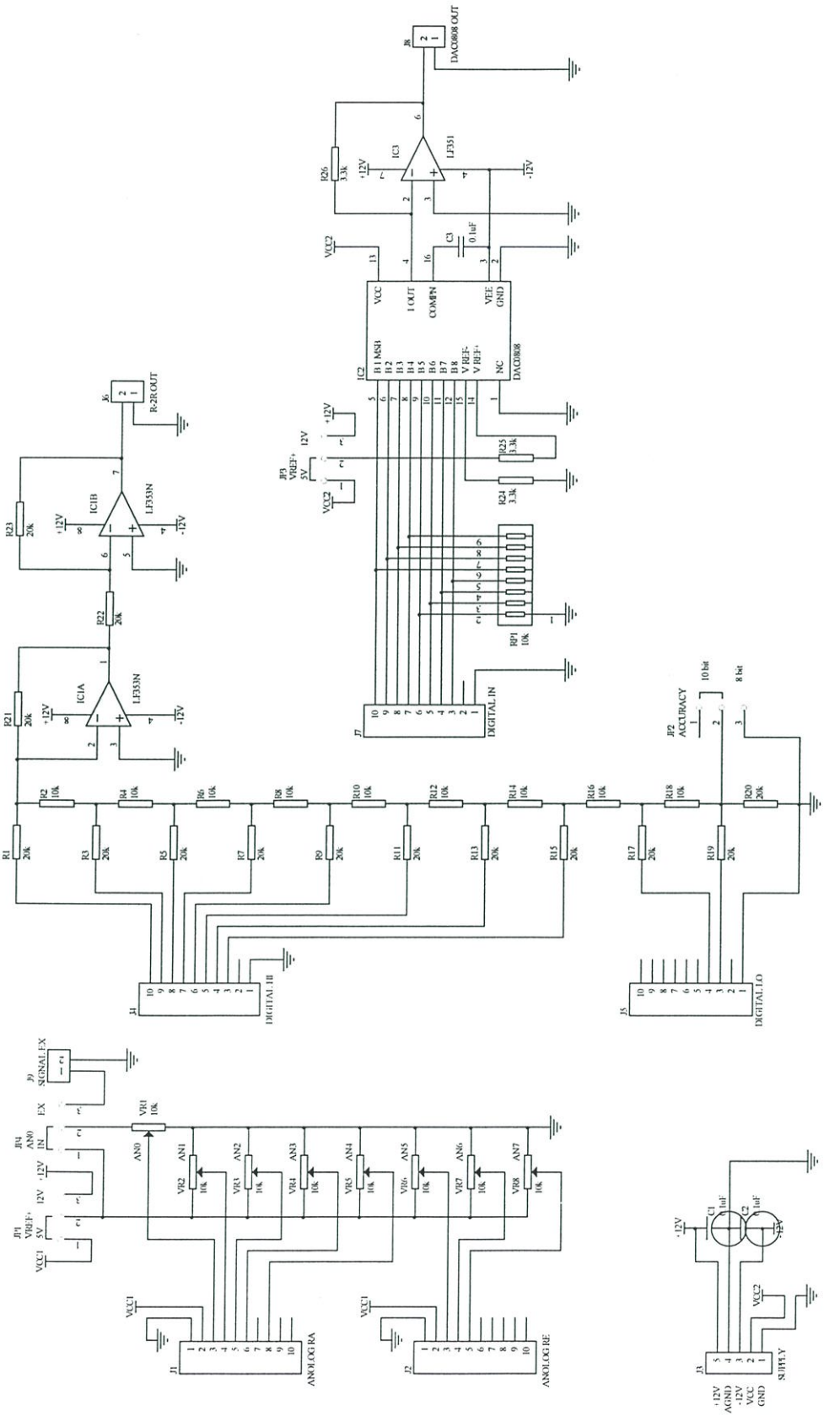
รูปที่ ข.6 วงจรสัญญาณขาออกไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ขนาด 8 บิต



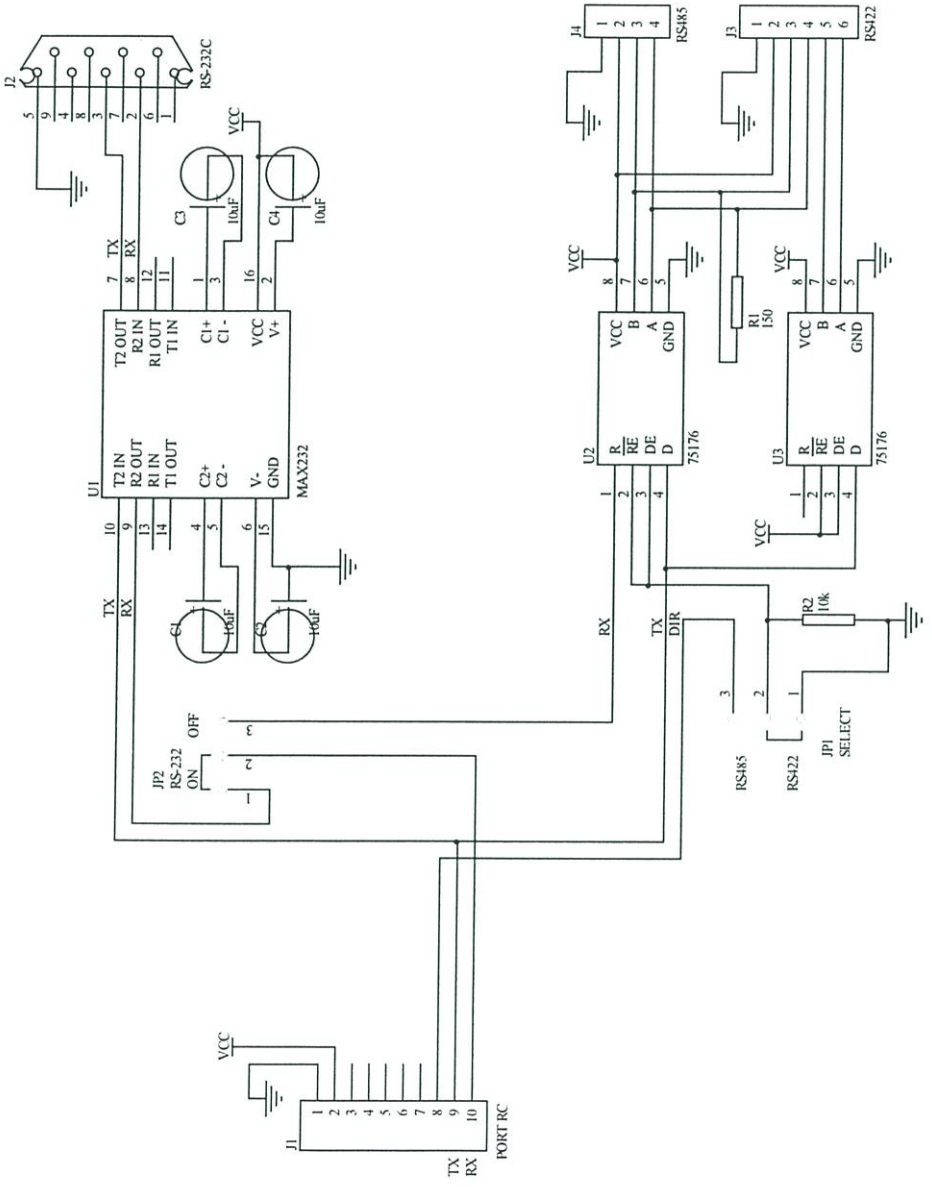
รูปที่ ข.7 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว



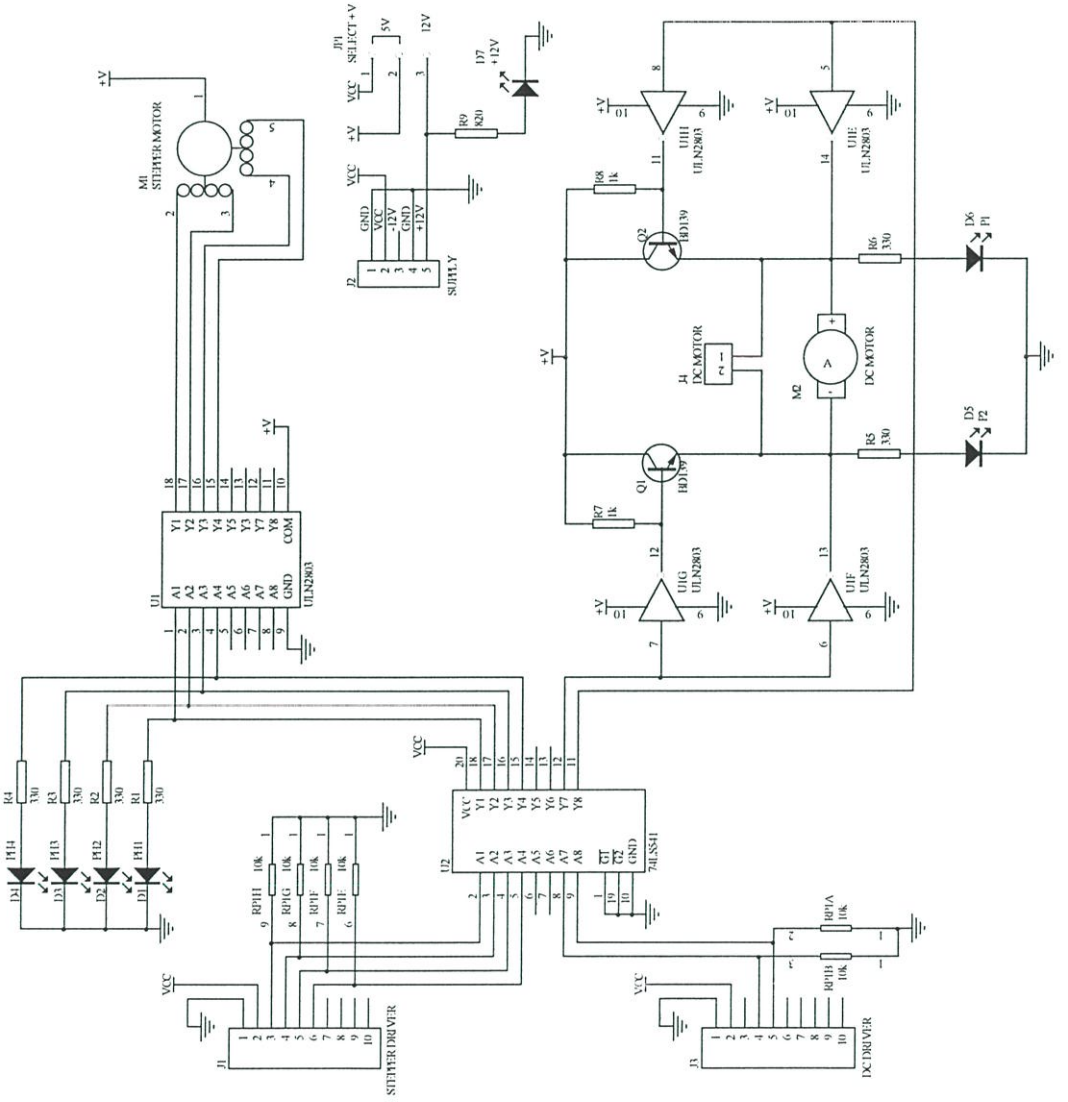
รูปที่ ข.8 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EEPROM / SPEAKER



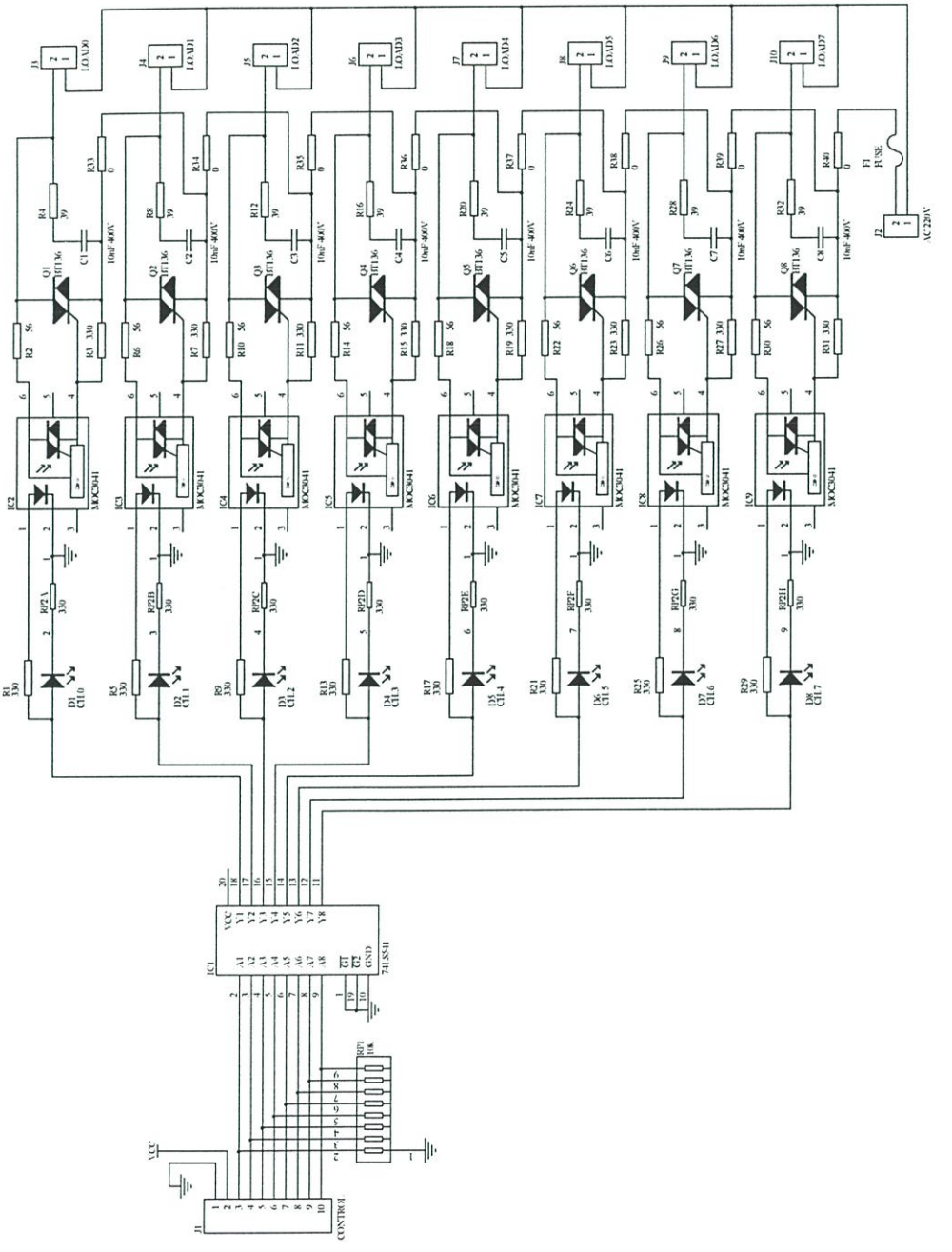
รูปที่ ข.9 วงจรสัญญาณของโมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล



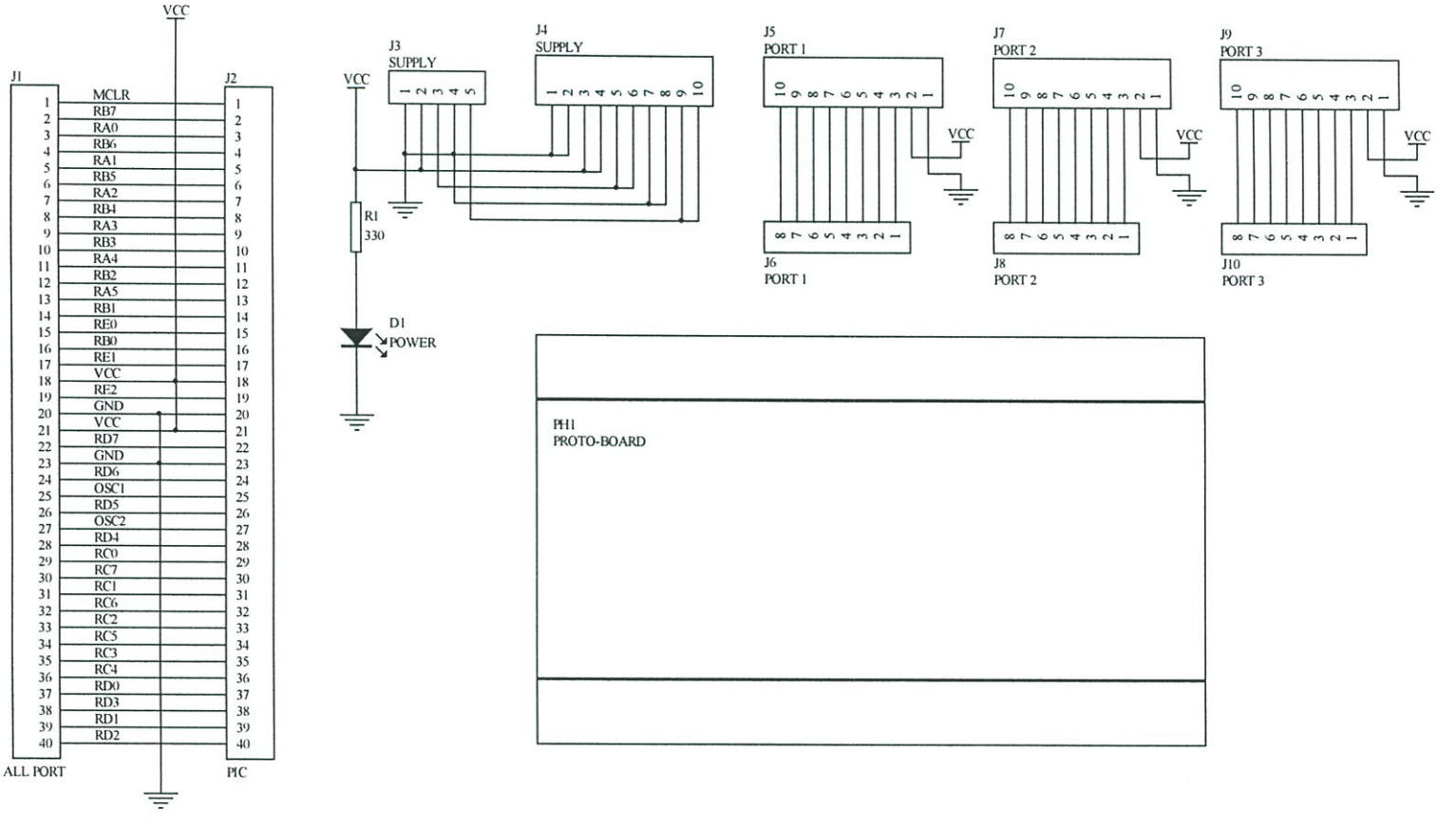
รูปที่ ข.10 วงจรส่วนประมวลผลของโมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม



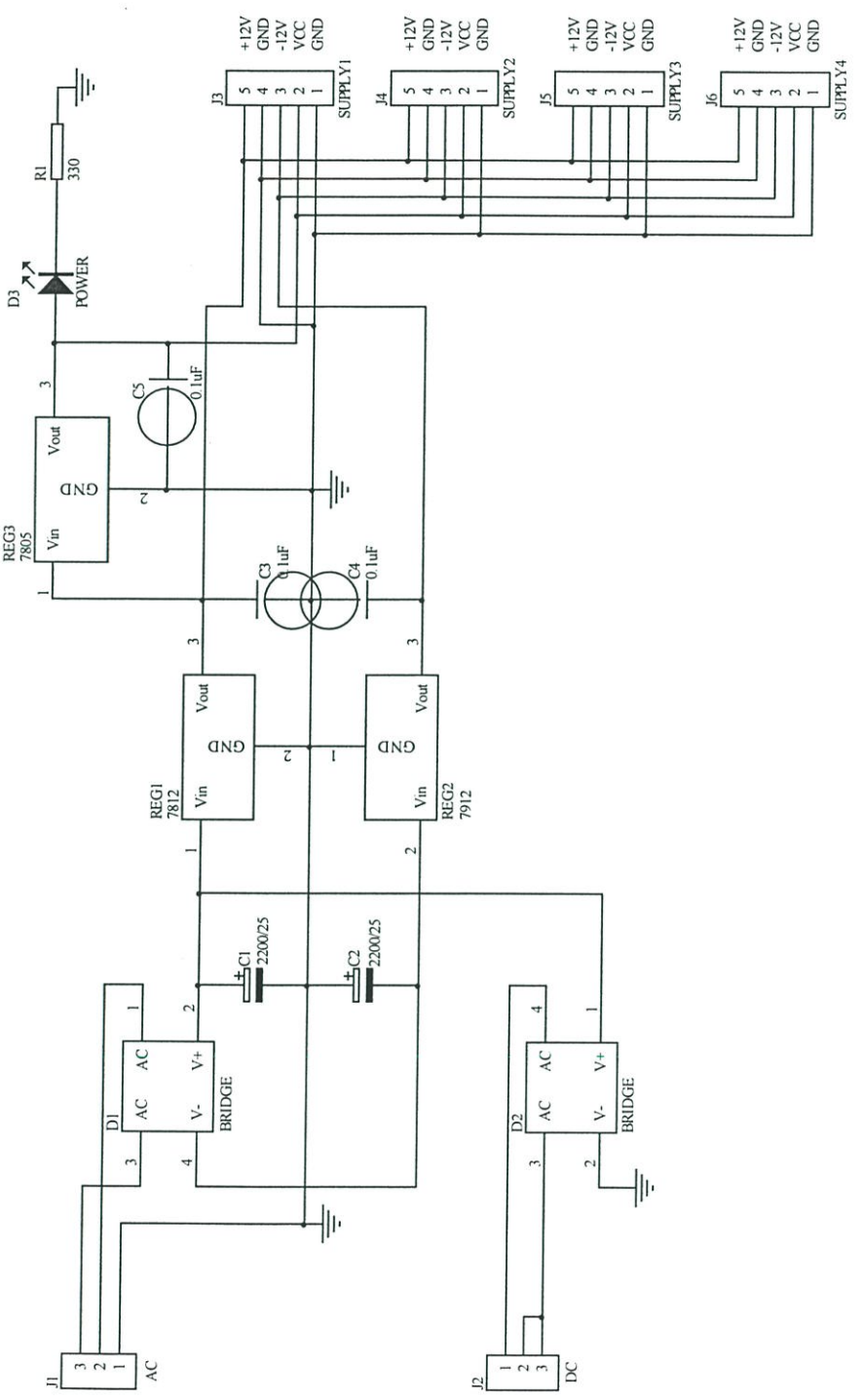
รูปที่ ข.11 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดขับคุมสเต็ปมอเตอร์และดีซีมอเตอร์แบบสเต็ปโมเตอร์



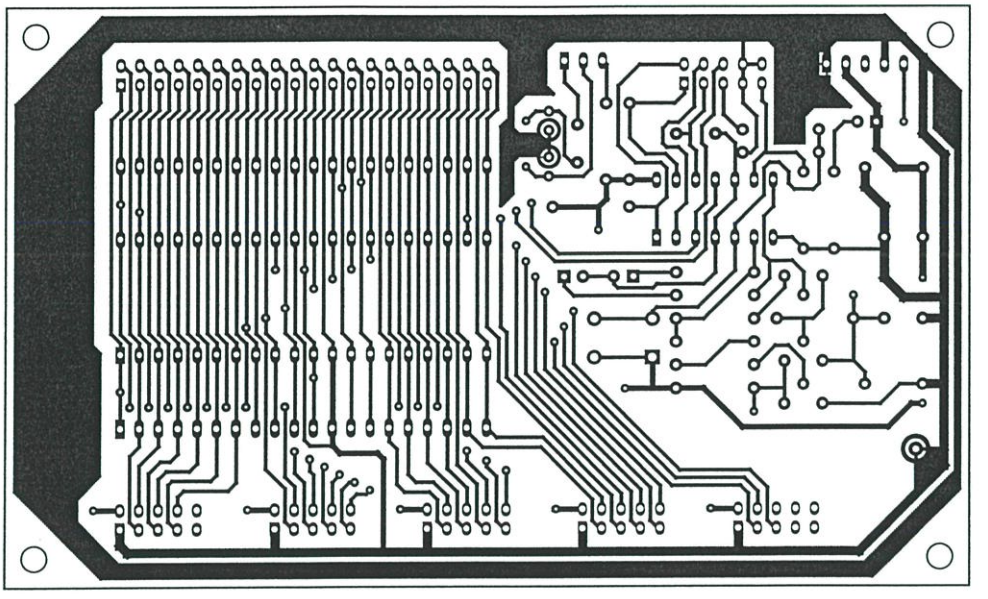
รูปที่ ข.12 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์



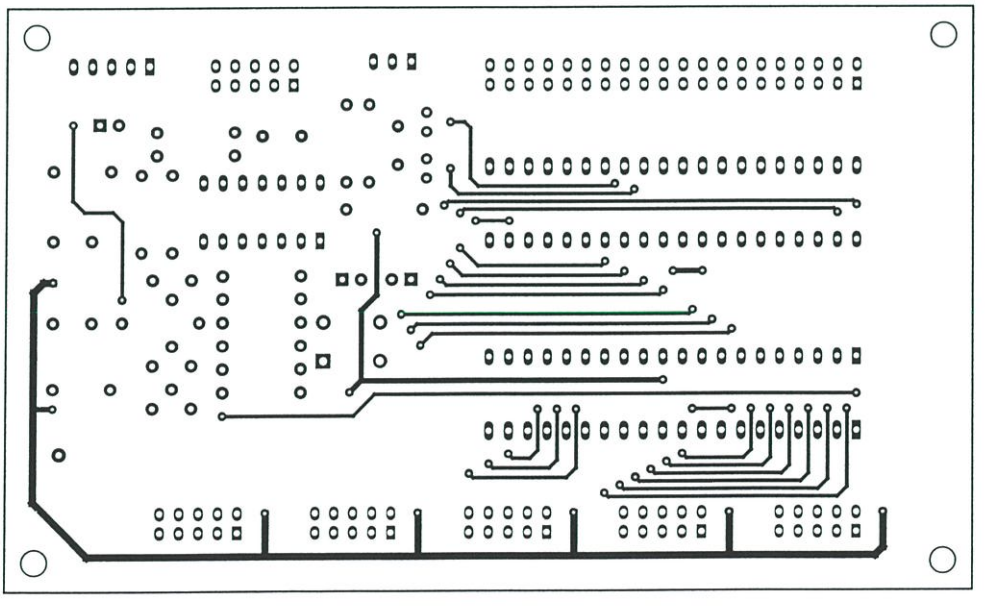
รูปที่ ข.13 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดทดลองวงจร



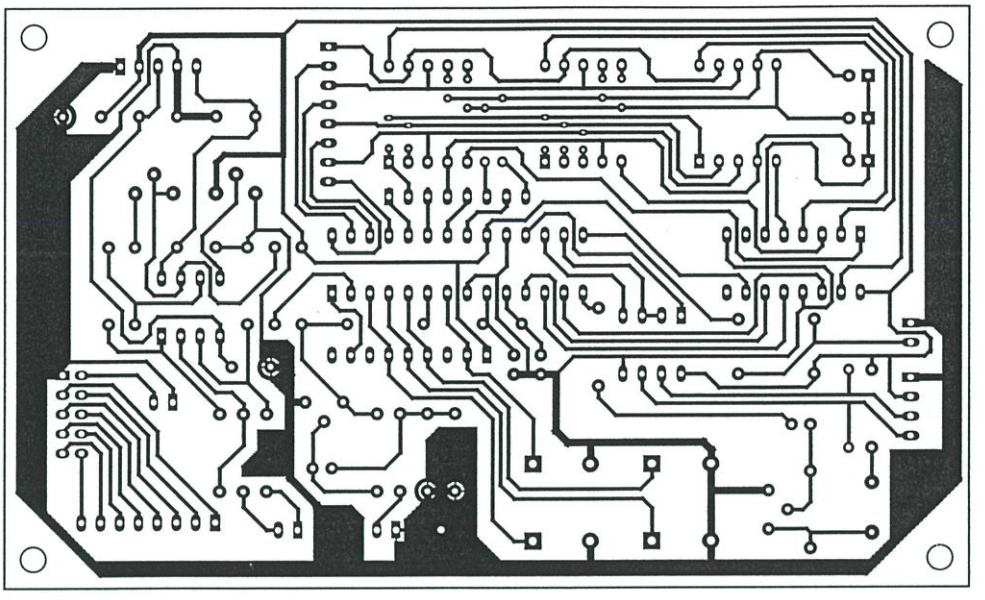
รูปที่ ข.14 วงจรสมบูรณ์ของโมดูลบอร์ดภาคจ่ายไฟ



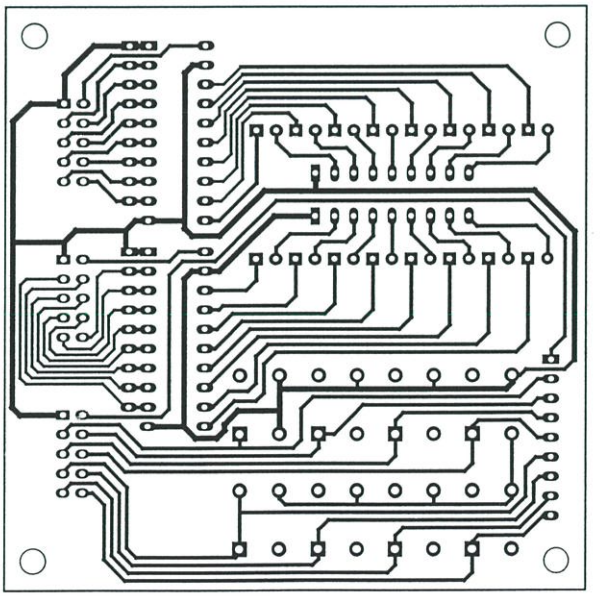
รูปที่ ข.15 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลหลัก PIC-ICSP



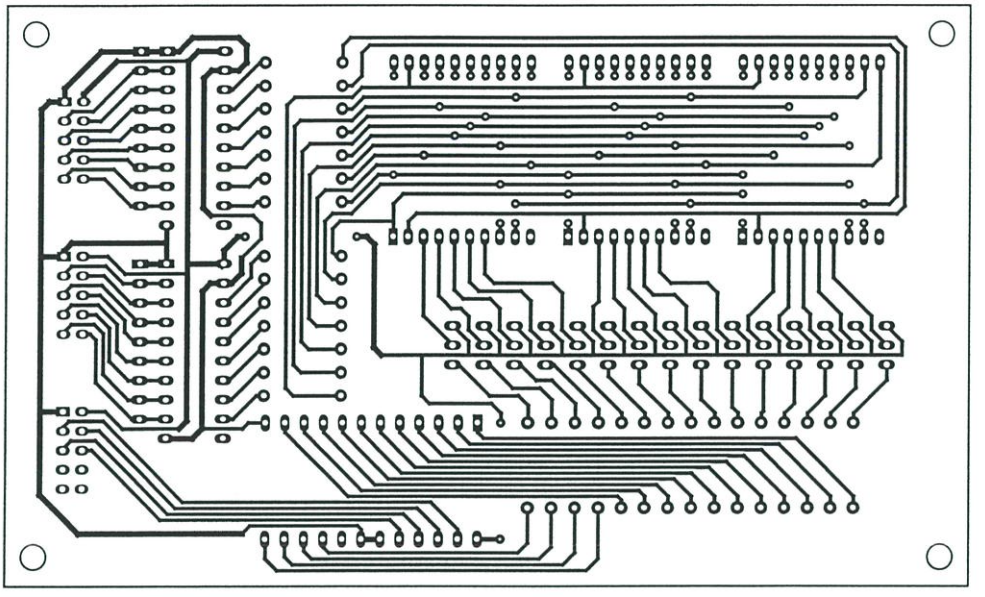
รูปที่ ข.16 ลายวงจรพิมพ์ด้านบนของโมดูลหลัก PIC-ICSP



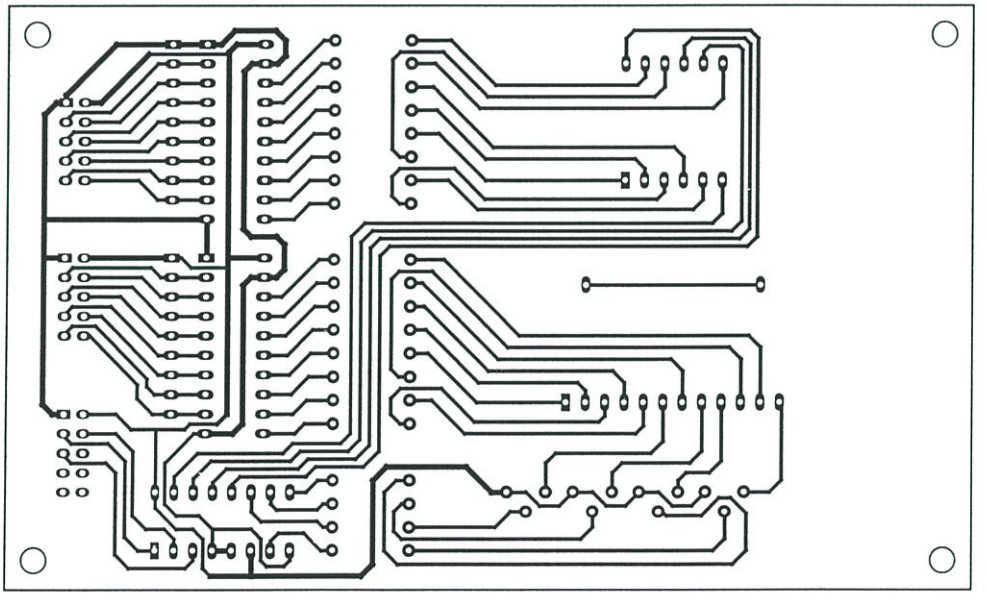
รูปที่ ข.17 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลเครื่องมือวัด



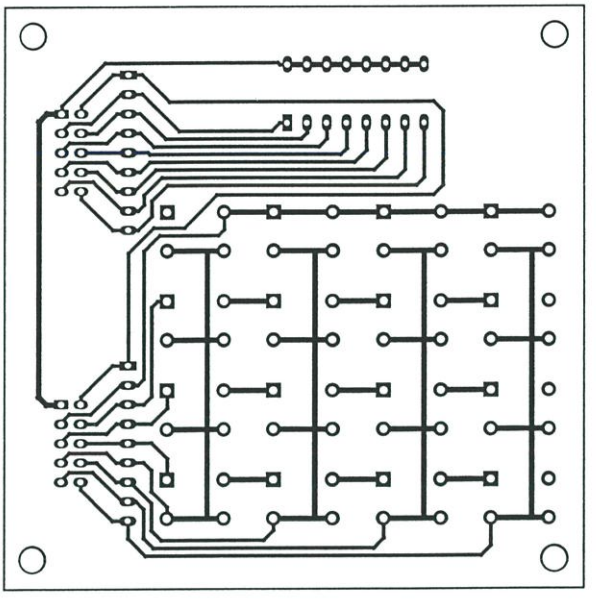
รูปที่ ข.18 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลเบสิกอินพุตเอาต์พุตพื้นฐาน



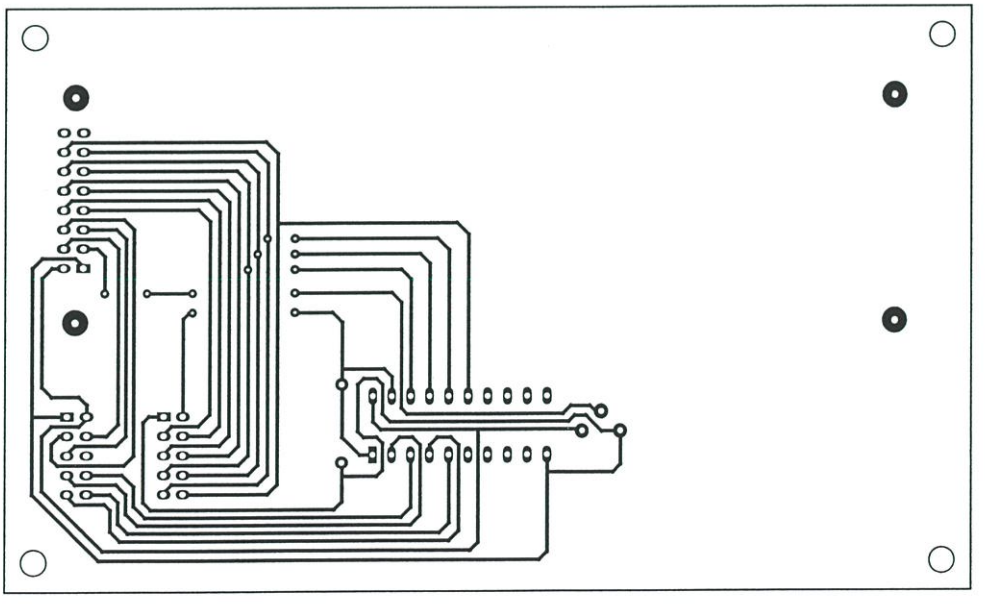
รูปที่ ข.19 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลแสดงผลแอลอีดีดอตเมตริกซ์



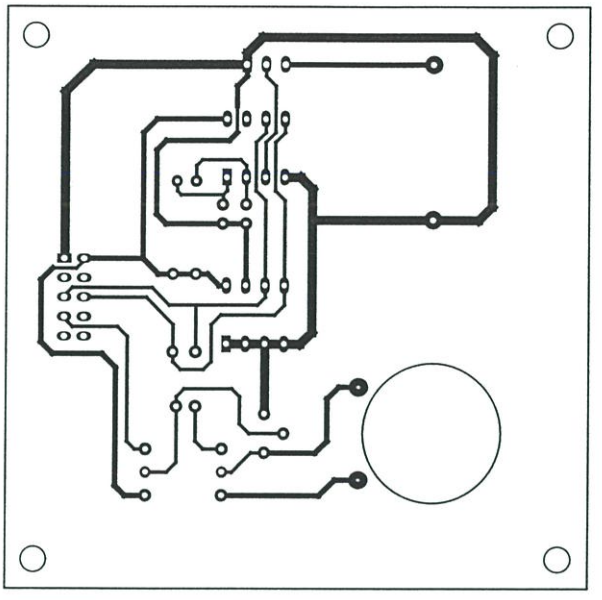
รูปที่ ข.20 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน



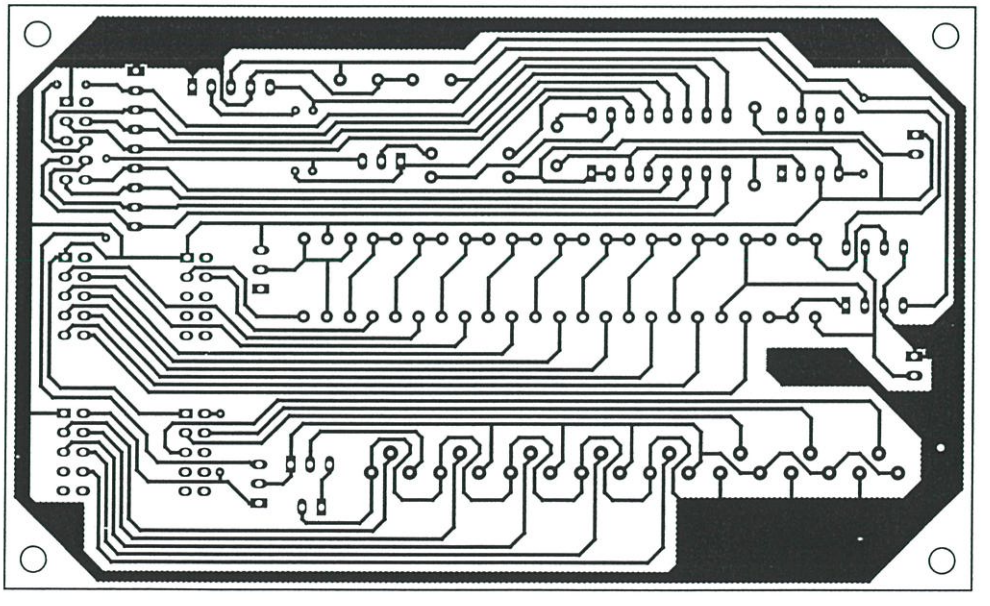
รูปที่ ข.21 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตช์



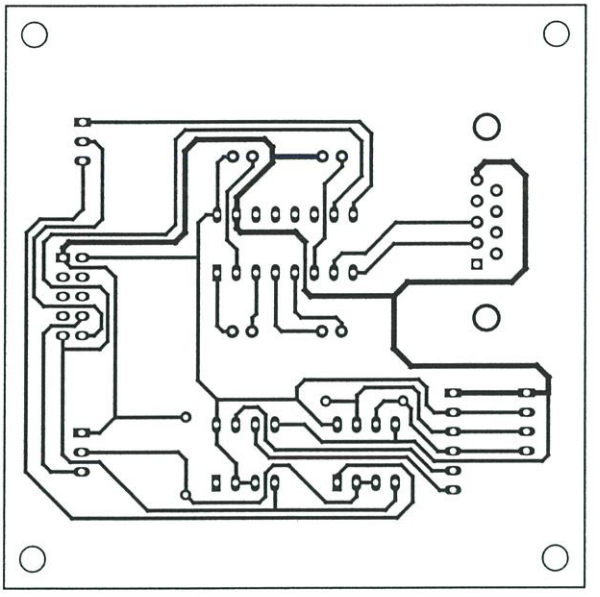
รูปที่ ข.22 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว



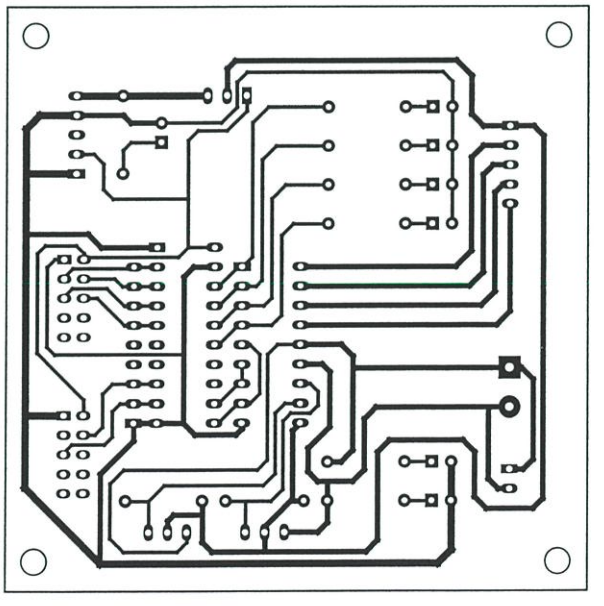
รูปที่ ข.23 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EEPROM / SPEAKER



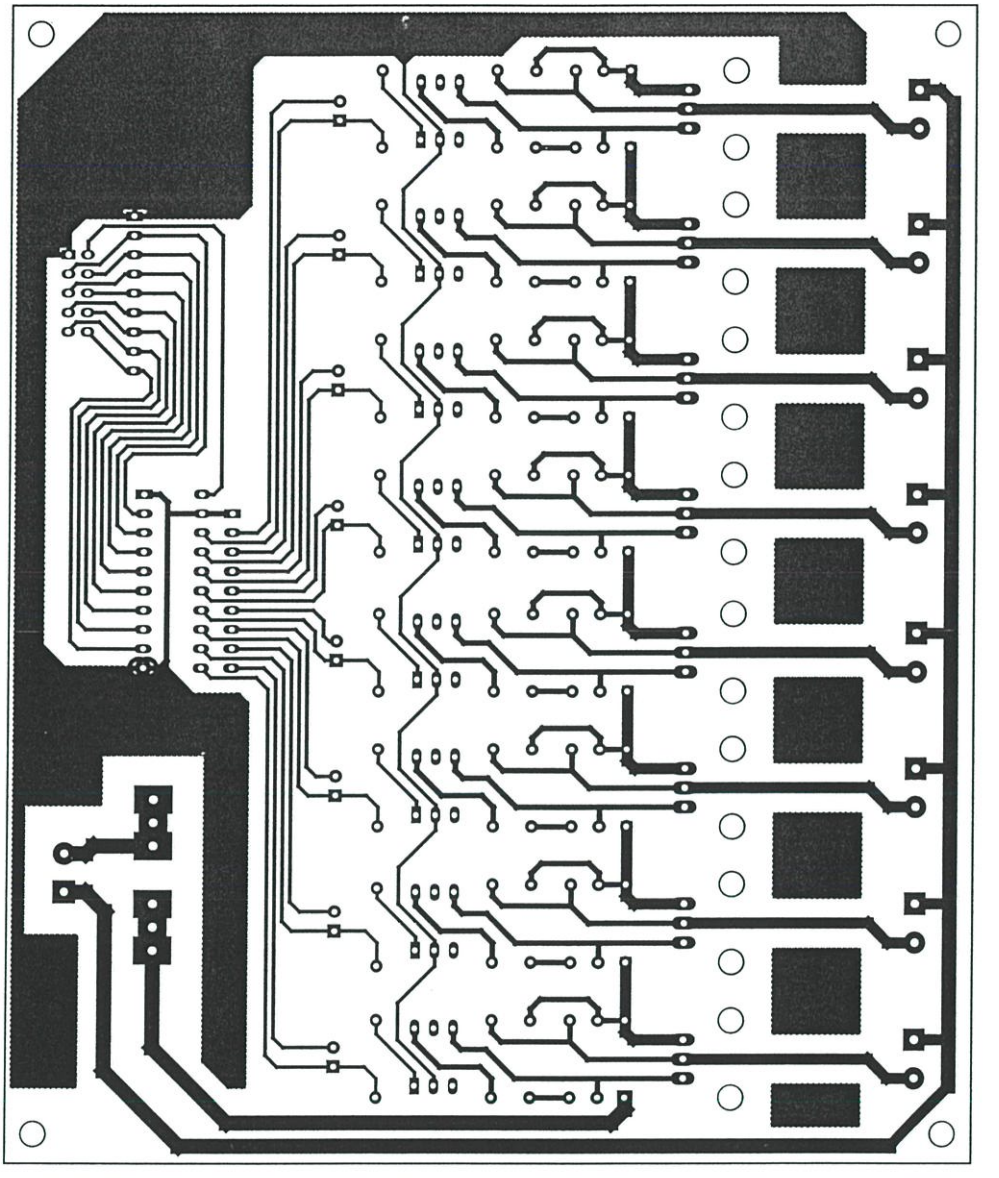
รูปที่ ข.24 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล



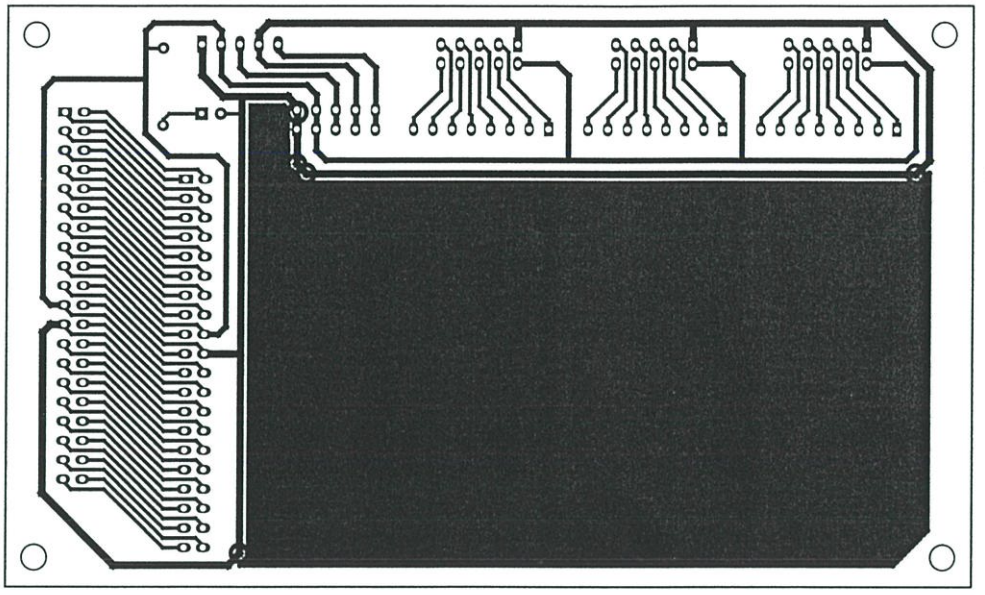
รูปที่ ข.25 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม



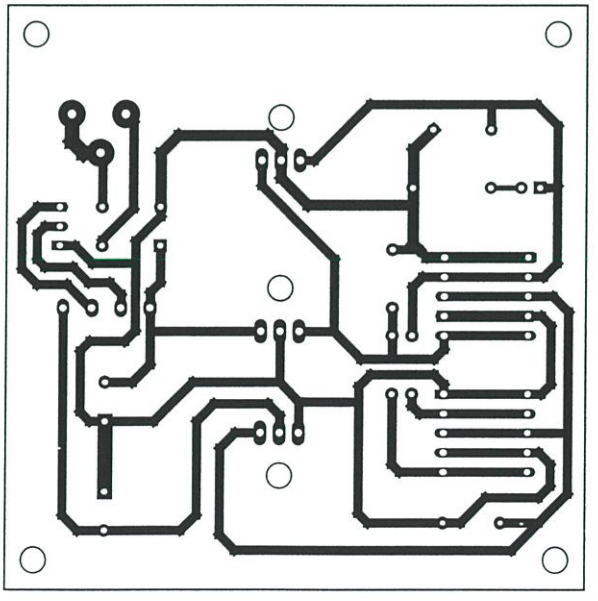
รูปที่ ข.26 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์



รูปที่ ข.27 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลโซลิดสเตทรีเลย์



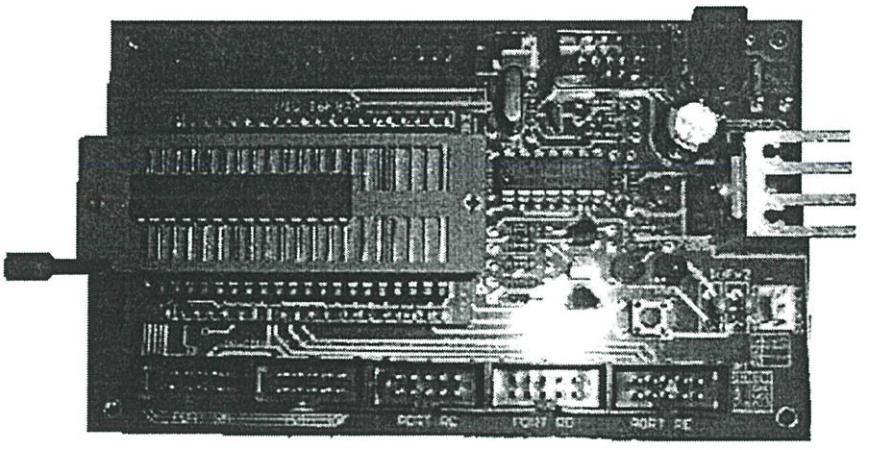
รูปที่ ข.28 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลทดลองวงจร



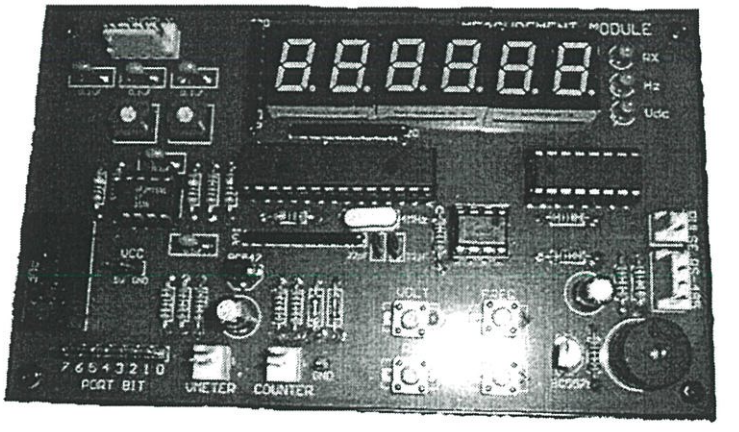
รูปที่ ข.29 ลายวงจรพิมพ์ด้านล่างของโมดูลภาคจ่ายไฟ

ภาคผนวก ค

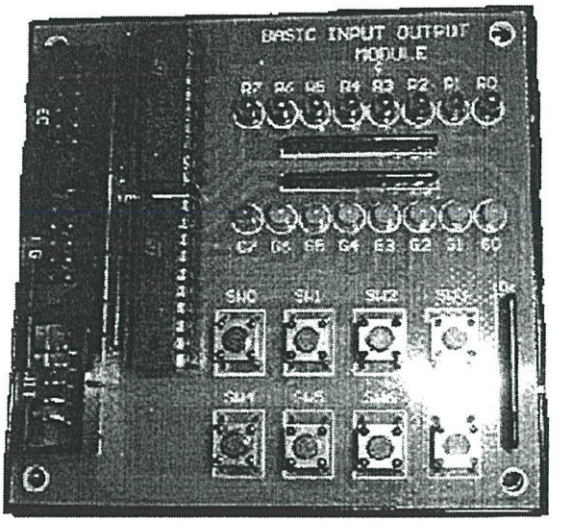
รูปโมดูลบอร์ด
ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876



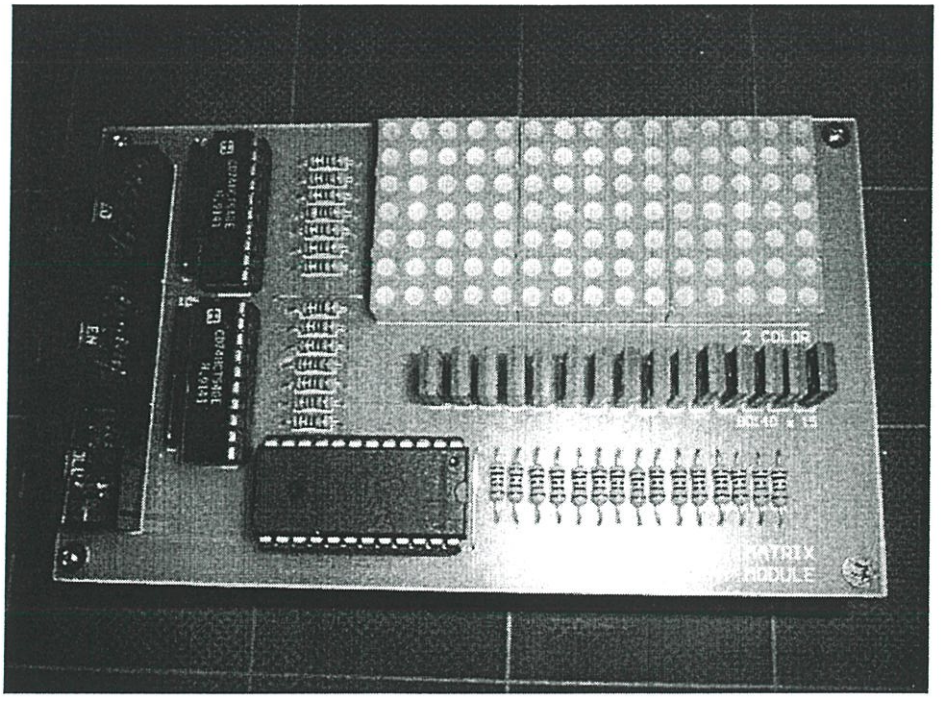
รูปที่ ค.1 โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP



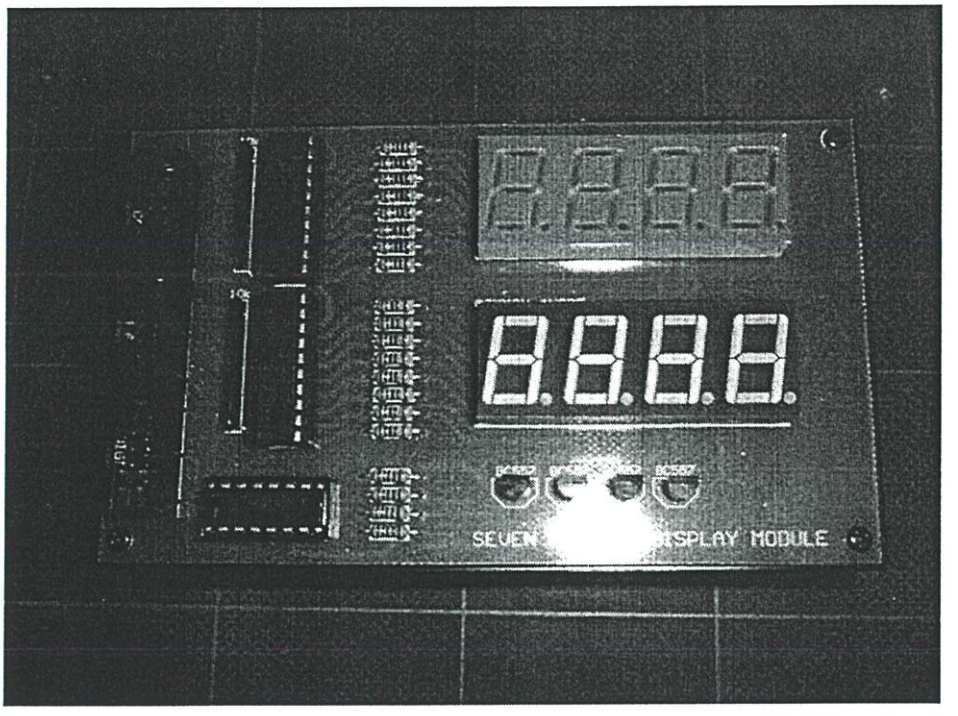
รูปที่ ค.2 โมดูลบอร์ดเครื่องมือวัด



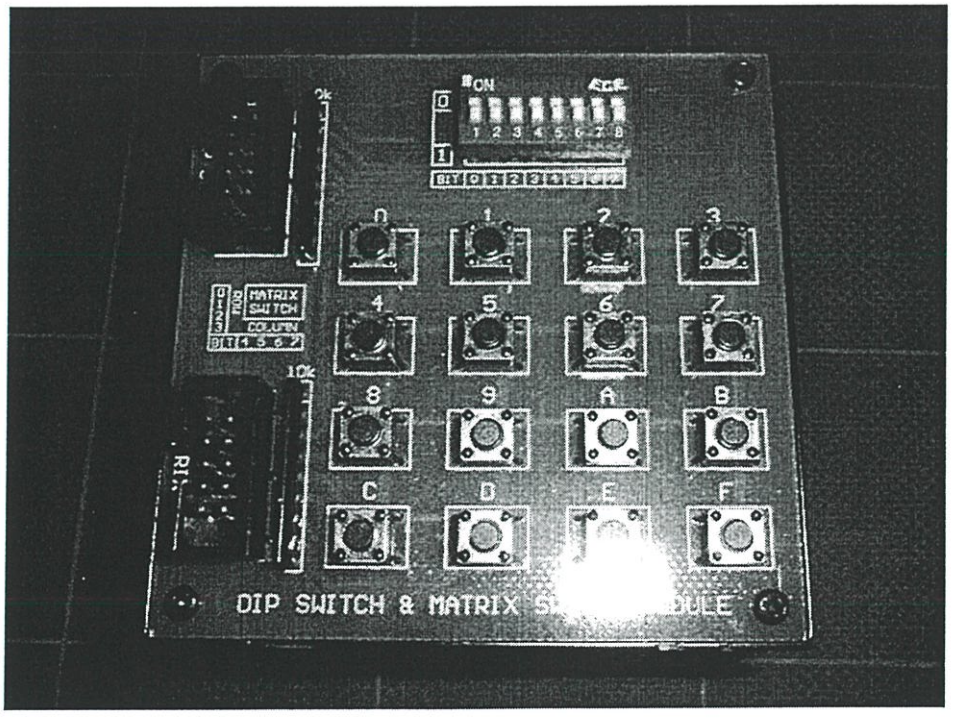
รูปที่ ค.3 โมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุตพื้นฐาน



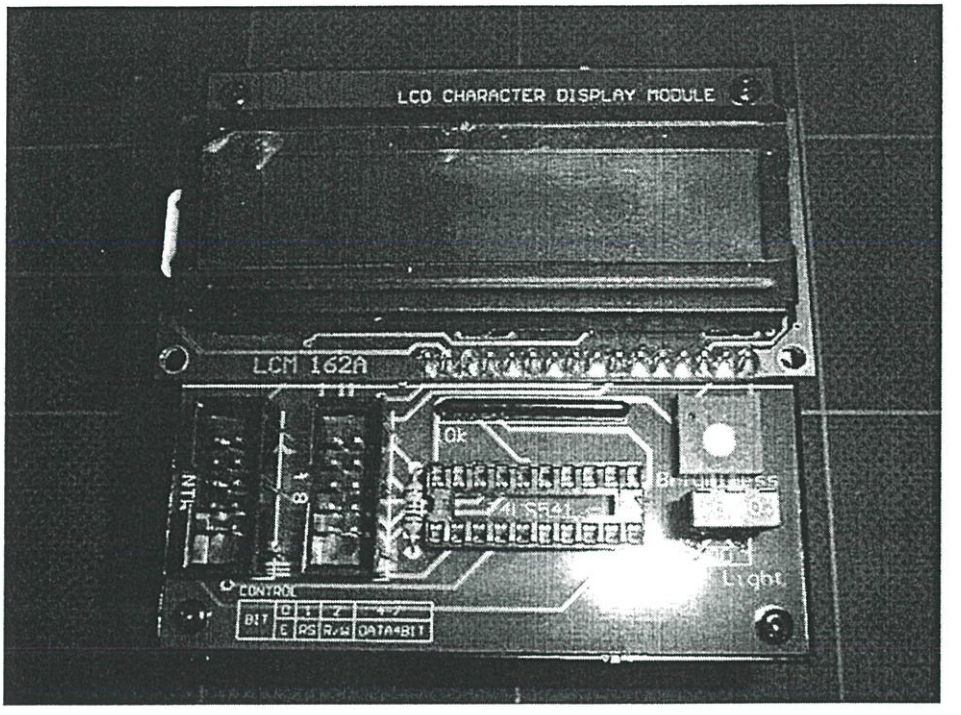
รูปที่ ค.4 โมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีดอตเมตริกซ์



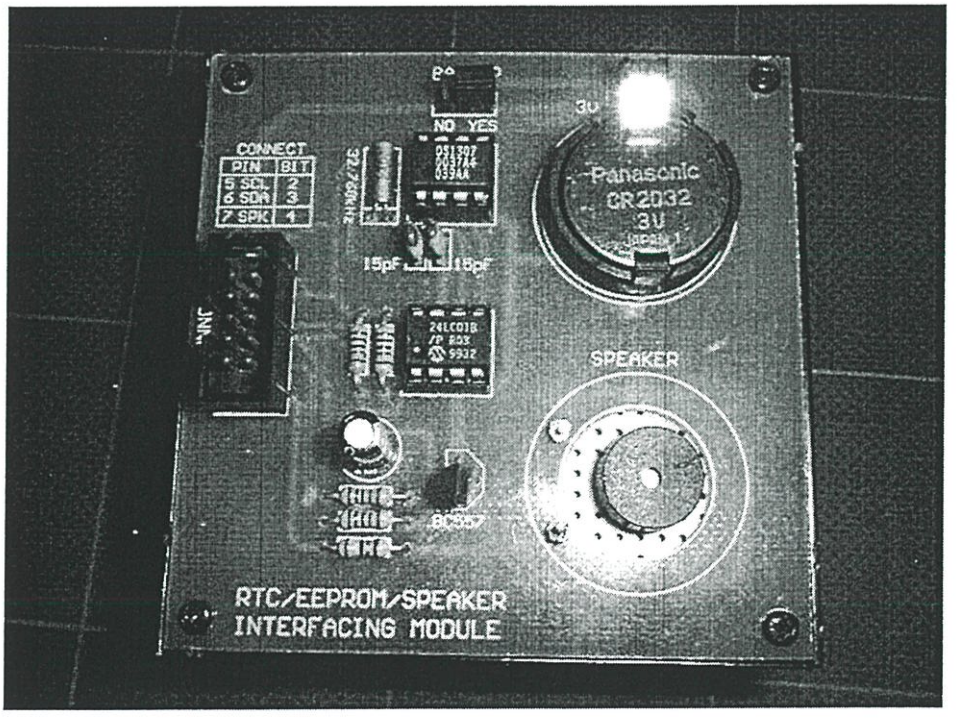
รูปที่ ค.5 โมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน



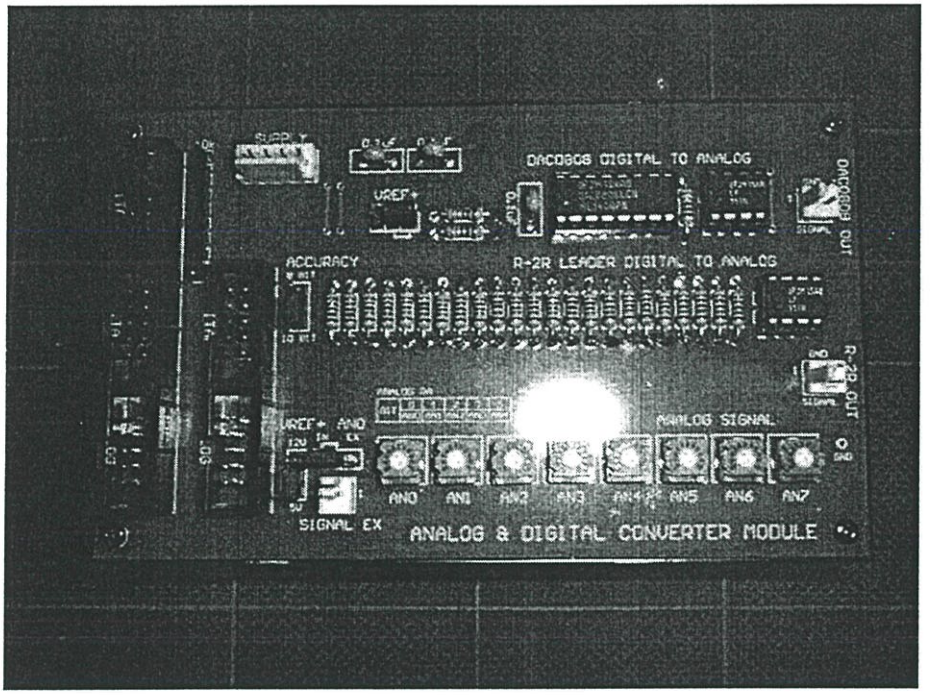
รูปที่ ค.6 โมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตช์



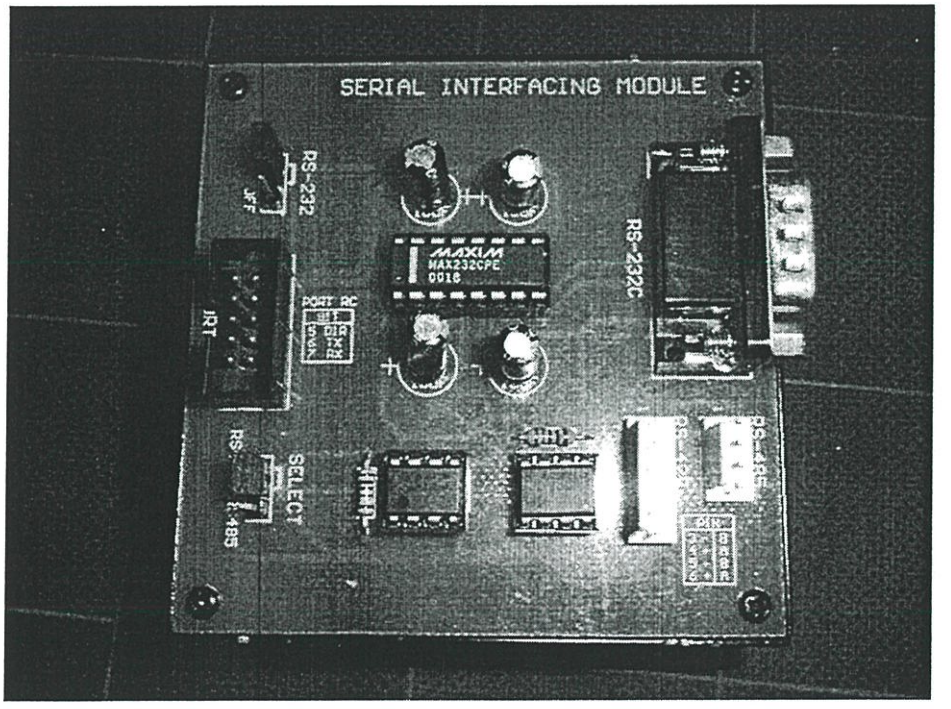
รูปที่ ค.7 โมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว



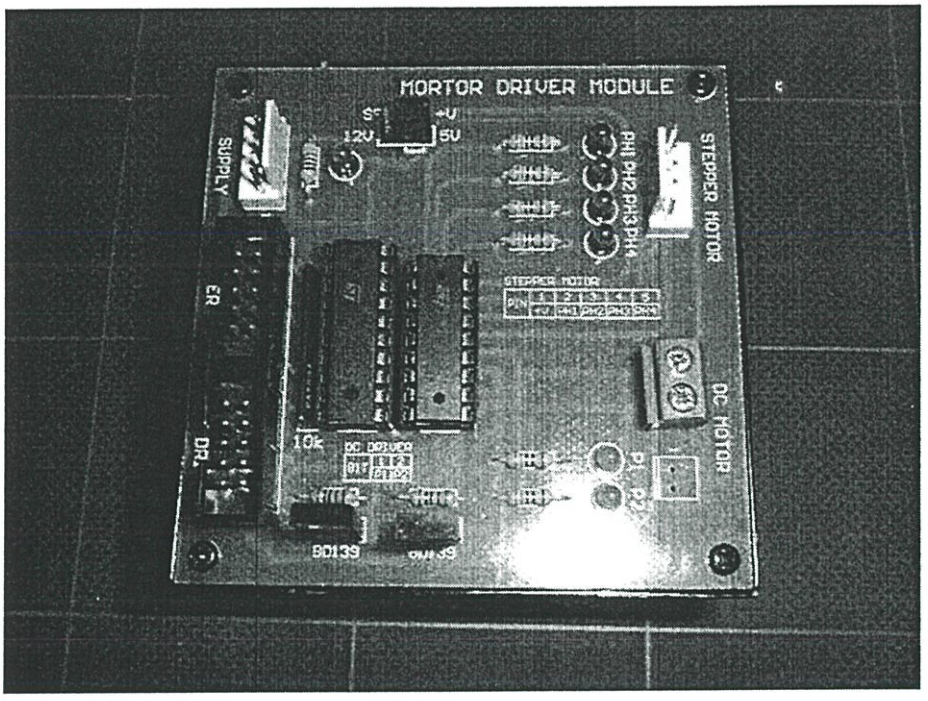
รูปที่ ค.8 โมดูลบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EPROM / Speaker



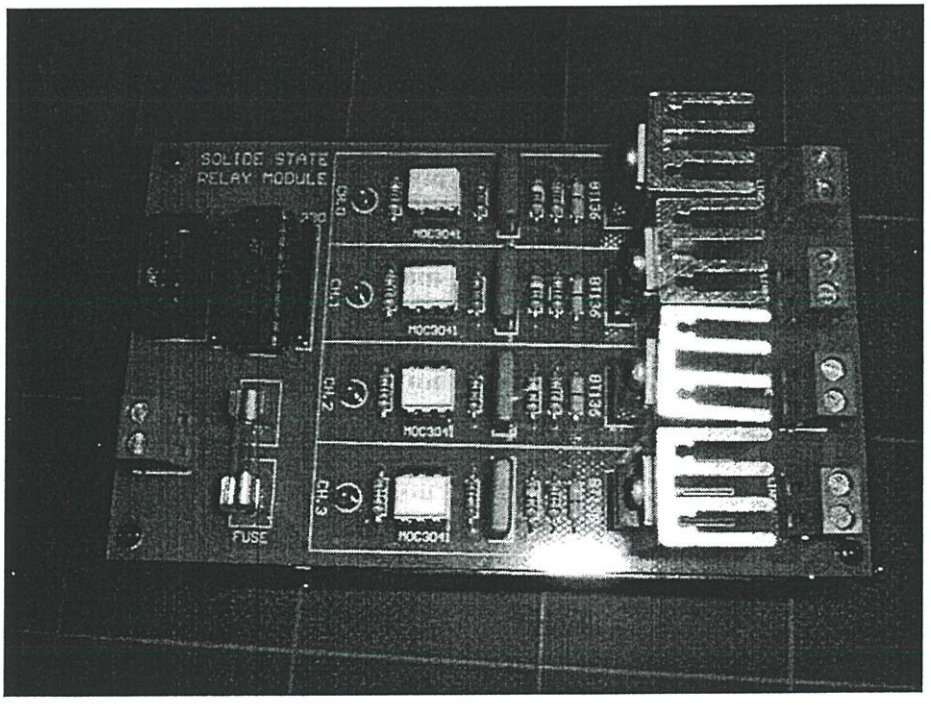
รูปที่ ค.9 โมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล



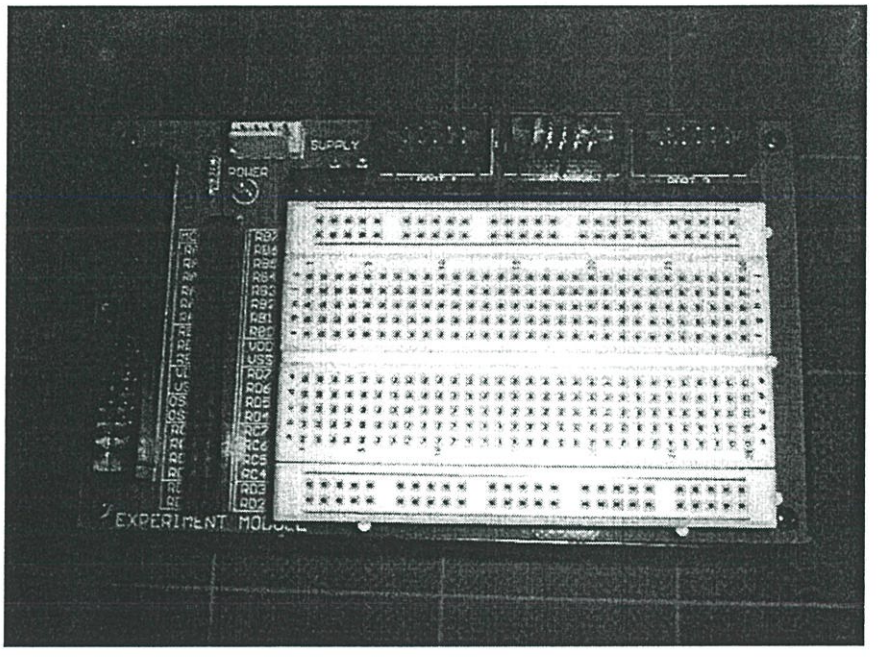
รูปที่ ค.10 โมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม



รูปที่ ค.11 โมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์



รูปที่ ค.12 โมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์



รูปที่ ค.13 โมดูลบอร์ดทดลองวงจร

ภาคผนวก ง

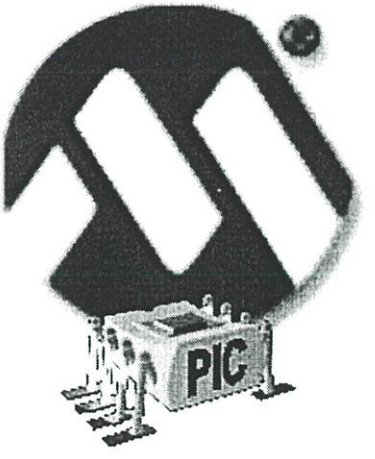
คู่มือการใช้งานโมดูลบอร์ด
ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

คู่มือการใช้งาน

ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC16F876

MICROCONTROLLER EXPERIMENT PRACTICAL SET

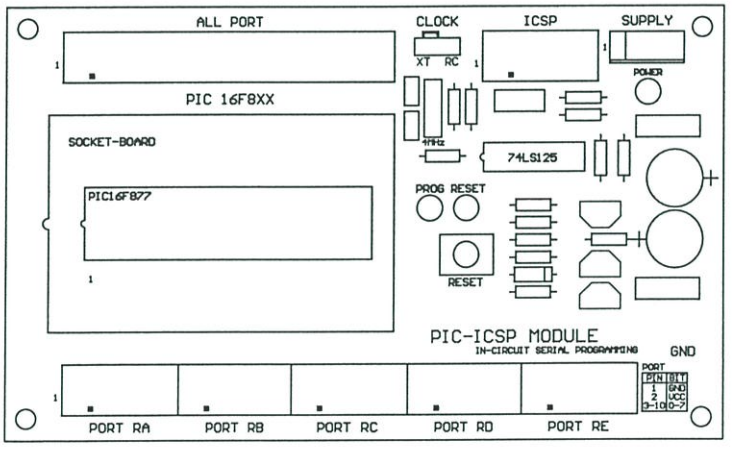


USER'S MANUAL

1. การใช้งานโมดูลบอร์ด

ชุดปฏิบัติการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 ได้ถูกออกแบบโดยเน้นให้เกิดความสะดวกในการทดลองใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876 เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อควบคุมการทำงาน โดยได้ออกแบบเป็นโมดูลบอร์ดสำหรับทดลองเรื่องต่างๆ เมื่อต้องกาทดลองเรื่องใดก็นำ โมดูลบอร์ดนั้นมาเสียบสายเชื่อมต่อกับพอร์ตในโมดูลบอร์ดหลัก ซึ่งเป็นโมดูลบอร์ดของไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วทำการโปรแกรมการทำงานลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อการทดลองหรือพัฒนาโปรแกรมได้

1.1 โมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP (PIC- In Circuit Serial Programming Module)



รูปที่ 1 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP

ALL PORT ใช้ต่อกับโมดูลบอร์ดบอร์ดทดลองวงจร ขาใช้งานของ PIC ทั้งหมดจะถูกเชื่อมต่อจากพอร์ตนี้

SOCKET-BOARD เป็นซ็อกเก็ตแบบ ZIP สำหรับเสียบตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งแบบ 40 ขา, 28 ขา และ 18 ขา โดยมีซ็อกเก็ตสำหรับเสียบ ZIP อีกทีให้ตรงกับจำนวนขาที่ต้องการใช้งาน

ICSP สำหรับเชื่อมต่อสายดาวน์โหลดข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อการโปรแกรม

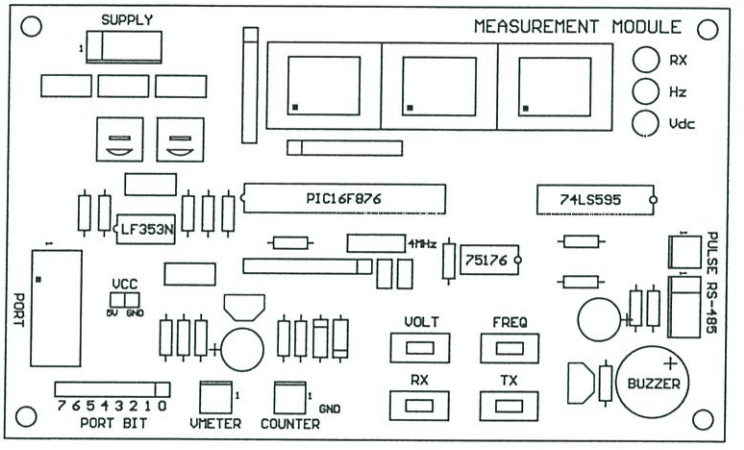
SUPPLY สำหรับต่อกับภาคจ่ายไฟ

PORTRA – PORTRE เป็นพอร์ตสำหรับต่อใช้งาน เชื่อมต่อกับโมดูลบอร์ดบอร์ดอื่นๆ

CLOCK จั๊มเปอร์เลือกสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2 โมดูลบอร์ดบอร์ดเครื่องมือวัด (Measurement Module)

กดสวิตช์เพื่อเลือกโหมดที่จะวัด สวิตช์ VOLT คือ โวลต์มิเตอร์, FREQ คือ เครื่องวัดความถี่, RX คือ เครื่องรับข้อมูลอนุกรม RS-485, TX คือ เครื่องส่งข้อมูลอนุกรม RS-485 โดยสัญญาณที่จะส่งออกไปคือตัวเลขจากส่วนแสดงผลทั้ง 6 หลัก ส่งไปเป็นแบบอนุกรม เริ่มจากหลักที่ 6 ด้านซ้ายสุด LED ด้านซ้ายใช้แสดงโหมดปัจจุบัน

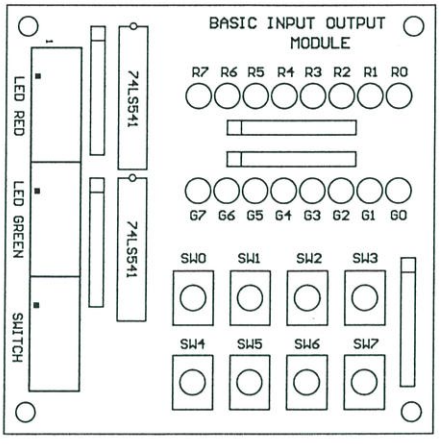


รูปที่ 2 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดบอร์ดเครื่องมือวัด

SUPPLY	สำหรับจ่ายแรงดันให้โมดูลบอร์ดบอร์ด
VR (ด้านซ้าย)	สำหรับปรับอัตราขยายวงจรดิฟแอมป์ของวงจรเครื่องวัดแรงดัน
VR (ด้านขวา)	สำหรับปรับแรงดันอ้างอิงศูนย์ของวงจรเครื่องวัดแรงดัน
PORT	ต่อกับสายแพเพื่อการวัดที่สัญญาณในสายแพได้ง่ายขึ้น
PORT BIT	เป็นจุดสำหรับการให้โพรบวัดสัญญาณจาก PORT
VMETER	สำหรับต่อสายโพรบเพื่อวัดแรงดัน
COUNTER	สำหรับต่อสายโพรบเพื่อวัดความถี่
PULSE	สำหรับต่อใช้งานโปรแกรมสร้างสัญญาณพัลส์
RS-485	สำหรับทดสอบรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบ RS-485

1.3 โมดูลบอร์ดบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุตพื้นฐาน (Basic Input Output Module)

แอลอีดีจะแอคตีฟที่ลอจิก “1” ทั้งสองสี ที่พอร์ตต่อใช้งานจะมีตัวต้านทานต่อพูลน์ดาวน์อยู่ สวิตช์จะแอกตีฟที่ลอจิก “0” เมื่อกดจะอ่านค่าได้ “0” ถ้าไม่กดจะเป็น “1”



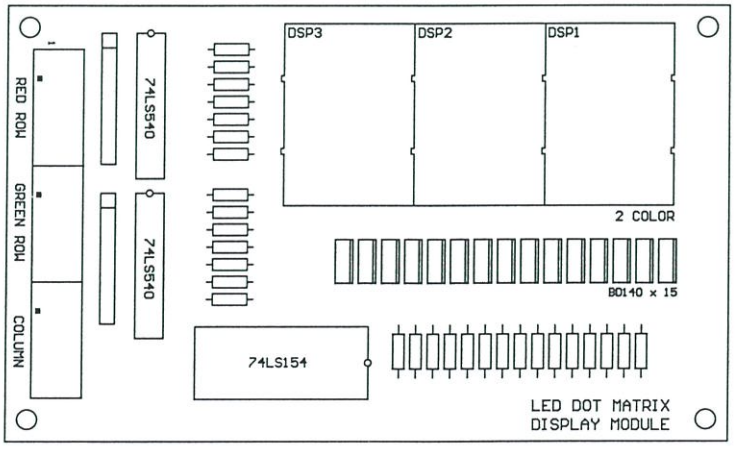
รูปที่ 3 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดเบสิกอินพุตเอาต์พุตพื้นฐาน

LED RED พอร์ตใช้งานชุดแสดงผลแอลอีดีสีแดงขนาด 8 บิต

LED GREEN พอร์ตใช้งานชุดแสดงผลแอลอีดีสีเขียวขนาด 8 บิต

SWITCH พอร์ตใช้งานสวิตช์สร้างสภาวะลอจิกขนาด 8 บิต

1.4 โมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีดอตเมตริกซ์ (LED Dot Matrix Display Module



รูปที่ 4 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดแสดงผลแอลอีดีดอตเมตริกซ์

จะต้องส่งข้อมูลสำหรับให้แอลอีดีติดด้านแถว โดยแบ่งเป็นแถวสำหรับสีแดง และสีเขียว ใช้สัญญาณแถวละ 8 บิต รวม 2 แถว 16 บิต ถ้าต้องการให้ติดเป็นสีเหลืองก็ให้แถวที่ตรงกันของทั้งสองสีติดพร้อมกัน สภาวะที่จะทำให้หลอดติดคือ "1" ส่วนด้านหลัก ให้สัญญาณ 4 บิตในการเลือกให้หลักใดหลักหนึ่งติด จากหลัก 00H ถึง 0EH ถ้าจะไม่ให้มีแถวใดติดเลยสามารถส่งข้อมูล 0FH เข้ามาที่พอร์ตนี้ได้

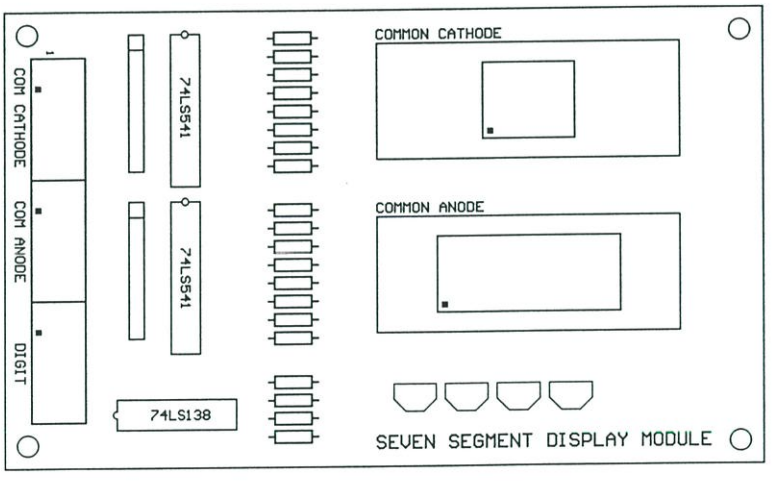
RED ROW พอร์ตส่งข้อมูลทางด้านแถวให้แอลอีดีสีแดง

GREEN ROW พอร์ตส่งข้อมูลทางด้านแถวให้แอลอีดีสีเขียว

COLUMN พอร์ตส่งข้อมูลที่ใช้เลือกคอลัมน์ ใช้สัญญาณ 4 บิตล่างของพอร์ต

1.5 โมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน (Seven Segment Display Module)

พอร์ตเลือกหลักจะใช้สัญญาณ 3 บิตล่าง สำหรับเลือกให้ติดหลักใดหลักหนึ่งใน 8 หลัก



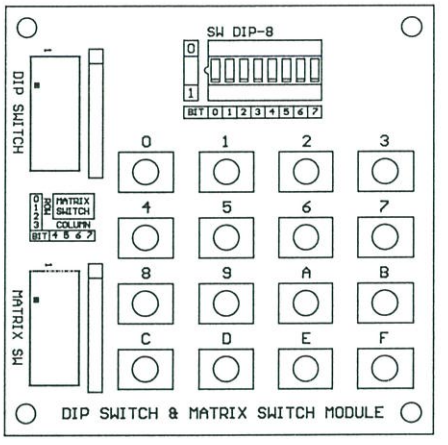
รูปที่ 5 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดแสดงผลตัวเลข 7 ส่วน

COM CATHODE พอร์ตส่งข้อมูลให้เซ็กเมนต์ของคอมมอนคาโถด

COM ANODE พอร์ตส่งข้อมูลให้เซ็กเมนต์ของคอมมอนอาโนด

DIGIT พอร์ตส่งข้อมูลเลือกหลัก ใช้สัญญาณ 3 บิตล่างของพอร์ต

1.6 โมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตช์ (Dip Switch and Matrix Switch Module)

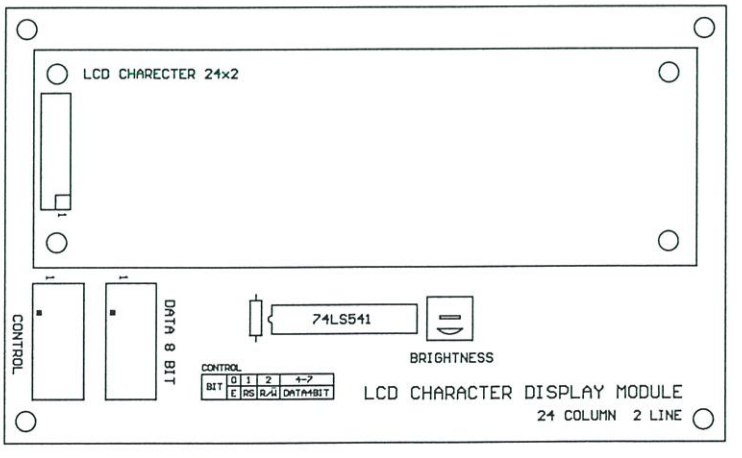


รูปที่ 6 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดดิพสวิตช์และเมตริกซ์สวิตช์

DIP SWITCH พอร์ตสำหรับอ่านสภาวะของดิพสวิตช์

MATRIX พอร์ตใช้งานเมตริกซ์สวิตช์ ทุกบิตจะมีตัวต้านทานต่อพูลอัพอยู่

1.7 โมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD Character Display Module)



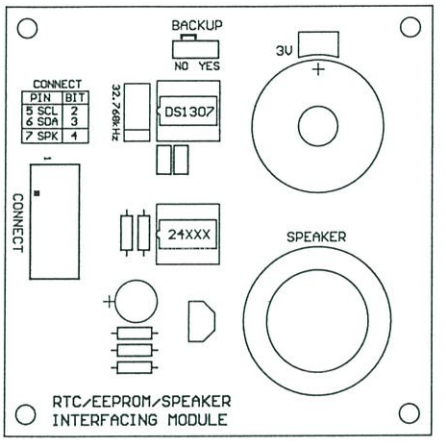
รูปที่ 7 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดแสดงผลแบบผลึกเหลว

CONTROL พอร์ตสัญญาณควบคุม LCD ใช้สัญญาณ 3 จากบิตล่าง

DATA พอร์ตรับส่งสัญญาณข้อมูล 8 บิต

1.8 โมดูลบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EEPROM / SPEAKER (RTC / EEPROM / SPEAKER INTERFACING Module)

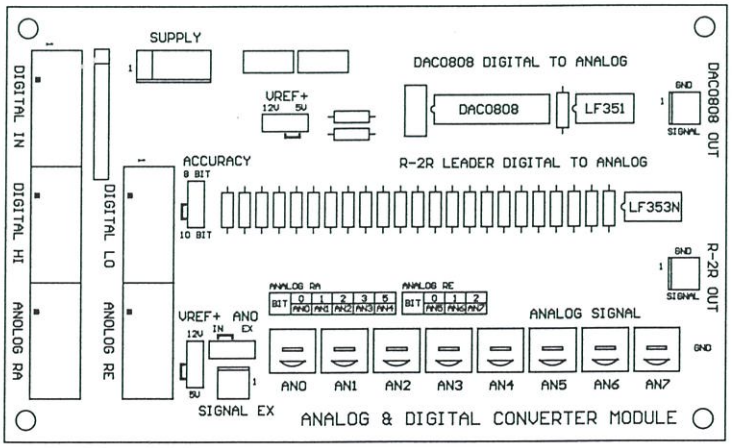
RTC และ EEPROM จะใช้สัญญาณ 2 บิตจากพอร์ต 1 พอร์ต รับส่งข้อมูลแบบ I^2C



รูปที่ 8 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดเชื่อมต่ออุปกรณ์ RTC / EEPROM / SPEAKER

CONTROL พอร์ตเชื่อมต่อ ใช้สัญญาณบิต 2 และบิต 3 เป็นบัสสำหรับ I^2C ส่วนลำโพงใช้สัญญาณบิต 4

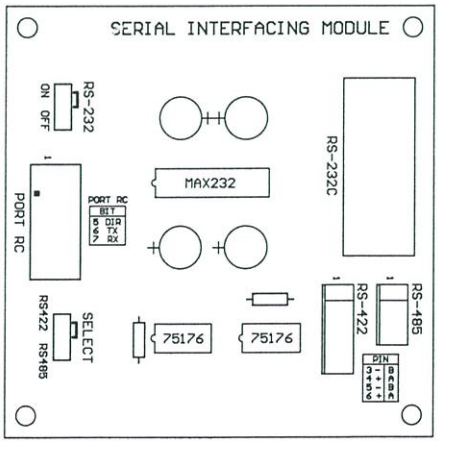
1.9 โมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล (Analog and Digital Converter Module)



รูปที่ 9 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดแปลงสัญญาณแอนะลอกและดิจิตอล

SUPPLY	สำหรับป้อนแรงดันจ่ายให้วงจร
DIGITAL IN	พอร์ตต่อสัญญาณดิจิตอลอินพุตขนาด 8 บิต ของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบใช้ไอซี DAC0808
DAC0808 OUT	สัญญาณเอาต์พุตแอนะลอกของ DAC0808
DIGITAL HI	พอร์ตต่อสัญญาณดิจิตอลอินพุต 8 บิตบน ของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบ R-2R Ladder
DIGITAL LO	พอร์ตต่อสัญญาณดิจิตอลอินพุต 2 บิตล่างของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกแบบ R-2R Ladder จะต่ออยู่ที่ บิต 1 และบิต 0 ของพอร์ต
R-2R OUT	สัญญาณเอาต์พุตแอนะลอกของ R-2R Ladder
ANALOG RA	พอร์ตแอนะลอกอินพุตสำหรับป้อนให้ ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พอร์ต A คือสัญญาณ AN0-AN4
ANALOG RE	พอร์ตแอนะลอกอินพุตสำหรับป้อนให้ ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พอร์ต E คือสัญญาณ AN5-AN7
SIGNAL EX	สำหรับป้อนสัญญาณแอนะลอกจากภายนอก
VREF+	จั๊มเปอร์สำหรับเลือกแรงดันอ้างอิงให้แก่วงจรแปลงสัญญาณ
ACCURACY	จั๊มเปอร์สำหรับเลือกขนาดบิตของวงจร R-2R Ladder
AN0	จั๊มเปอร์เลือกสัญญาณจากภายนอกเข้าที่พอร์ต AN0

1.10 โมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม (Serial Interfacing Module)



รูปที่ 10 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดสื่อสารข้อมูลอนุกรม

เมื่อเซตจั๊มเปอร์ RS-232 ไปที่ ON จะเป็นการใช้มาตรฐานนี้ในการสื่อสารข้อมูล เมื่อต้องการใช้มาตรฐาน RS-485 หรือ RS-422 ให้เซตจั๊มเปอร์ RS-232 ไปที่ OFF และจึงเซตจั๊มเปอร์ SELECT เลือกมาตรฐานที่ต้องการ

PORT RC สำหรับต่อเข้ากับพอร์ต C บิต 7(RX), บิต 6(TX) และบิต 5(DIR) ซึ่งเป็นจุดต่อสำหรับ USART ของไมโครคอนโทรเลอร์

RS-232C คอนเนคเตอร์ DP-9 ตัวเมีย สำหรับเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

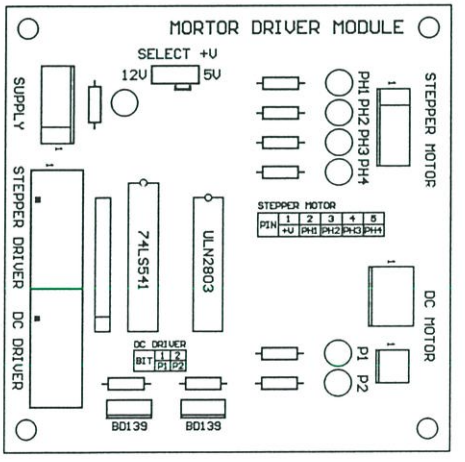
RS-485 สำหรับส่งสัญญาณอนุกรมแบบ RS-485

RS-422 สำหรับส่งสัญญาณอนุกรมแบบ RS-422

RS-232 จั๊มเปอร์เพื่อเปิดปิดวงจรสื่อสาร RS-232

SELECT จั๊มเปอร์เพื่อเลือกการใช้มาตรฐาน RS-485 หรือ RS-422

1.11 โมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์ (DC Motor and STEPPING Motor Driver Module)



รูปที่ 11 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดขับดีซีมอเตอร์และสเตปปิ้งมอเตอร์

SUPPLY สำหรับป้อนแรงดันให้แก่โมดูลบอร์ดเมื่อต้องการใช้แรงดันสูงในการขับมอเตอร์

STEPPER DRIVER พอร์ตสำหรับควบคุมการขับสเตปปิ้งมอเตอร์

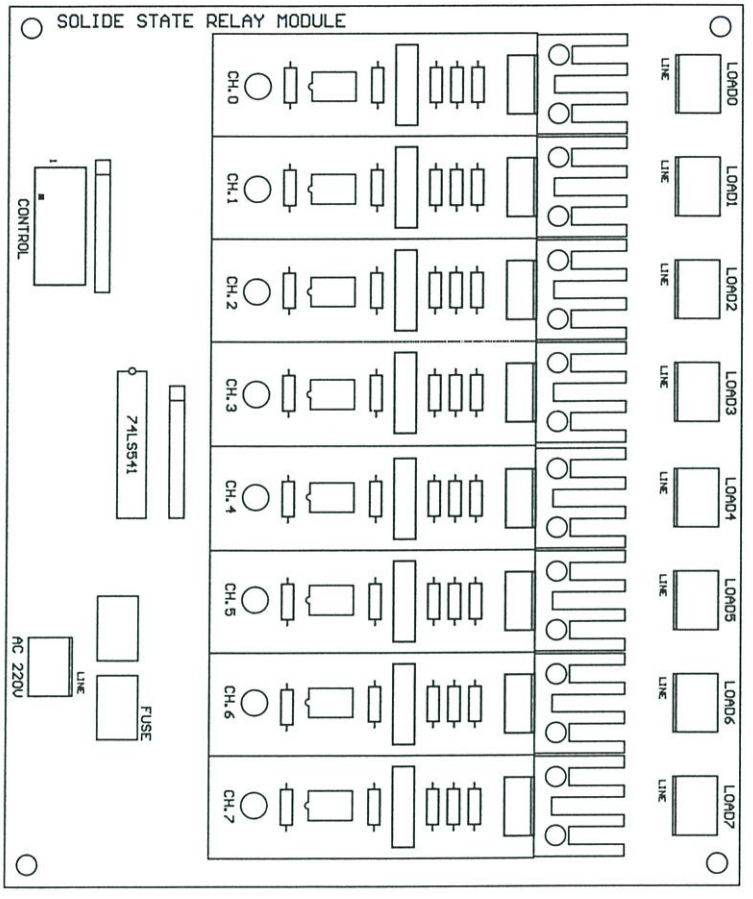
STEPPER MOTOR สำหรับต่อสเตปปิ้งมอเตอร์ชนิดยูนิโพลาร์

DC DRIVER พอร์ตสำหรับควบคุมการขับดีซีมอเตอร์ ใช้สัญญาณบิต 1 และบิต 2

DC MOTOR สำหรับต่อดีซีมอเตอร์ สามารถต่อได้ทั้งจากคอนเนคเตอร์สีเขียวและสีขาว

SELECT +V จั๊มเปอร์เลือกแรงดันที่ใช้ขับมอเตอร์ในกรณีต้องการใช้แรงดันสูงขับ

1.12 โมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์ (Solid State Relay Module)



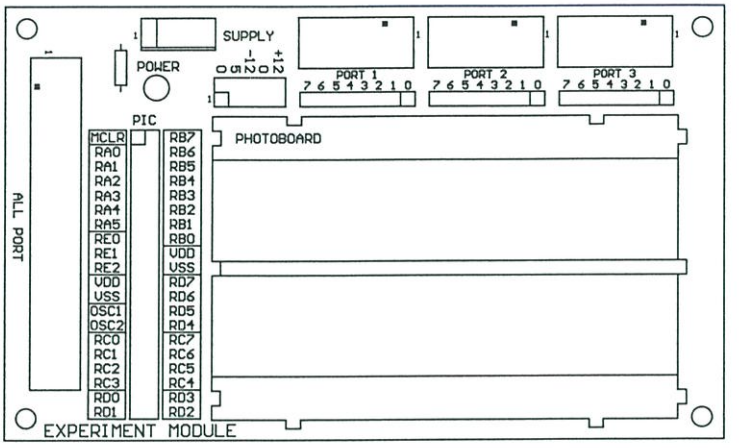
รูปที่ 12 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดโซลิดสเตทรีเลย์

CONTROL พอร์ตสำหรับควบคุมโซลิดสเตทรีเลย์ ขนาด 8 บิต

AC 220V สำหรับต่อกับแรงดัน AC 220V เป็นแหล่งจ่ายให้แก่โหลด

LOAD0 – LOAD7 สำหรับต่อโหลดที่ต้องการควบคุม เส้นที่เขียนว่า LINE หมายถึง สายเส้นนั้นจะมีแรงดันไฟเลี้ยงอยู่ตลอดเวลา ส่วนเส้นที่ไม่ได้เขียนว่า LINE จะเป็นสายที่ผ่านโซลิดสเตทรีเลย์ จะไม่มีแรงดันเมื่อโซลิดสเตทรีเลย์อยู่ในสภาวะ OFF

1.13 โมดูลบอร์ดทดลองวงจร (Circuit Experimental Module)



รูปที่ 13 จุดเชื่อมต่อใช้งานของโมดูลบอร์ดทดลองวงจร

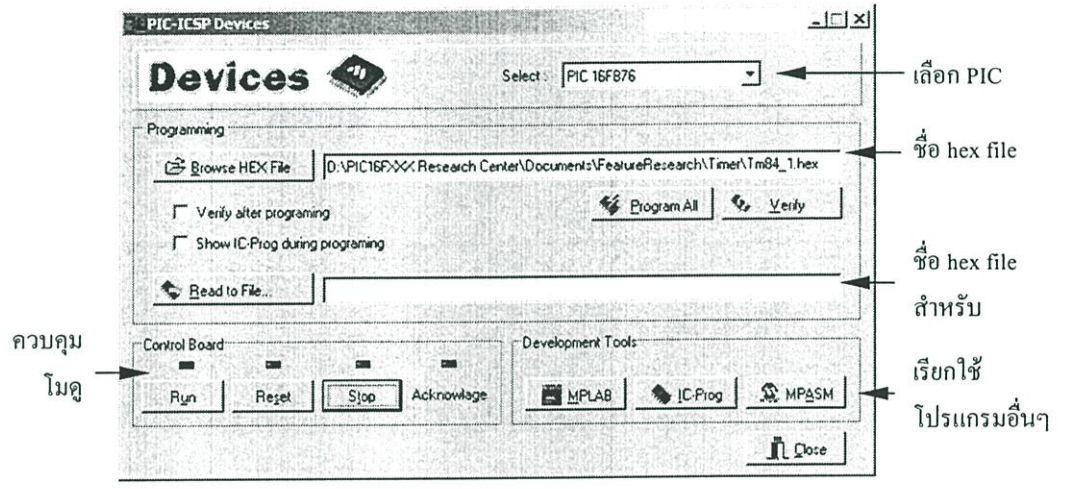
ALL PORT พอร์ตเชื่อมต่อกับโมดูลบอร์ดหลัก รวมสัญญาณจาก PIC ทุกๆ ขาเพื่อการทดลอง

SUPPLY สำหรับต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง สำหรับการทดลอง

PORT 1 – PORT 3 คอนเน็คเตอร์สำหรับเชื่อมต่อเพื่อทดลองกับโมดูลบอร์ดอื่นๆ

2. การใช้งานโปรแกรม PIC-ICSP Device

โปรแกรมสำหรับดาวน์โหลดข้อมูลและโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์ จากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตขนาน ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์

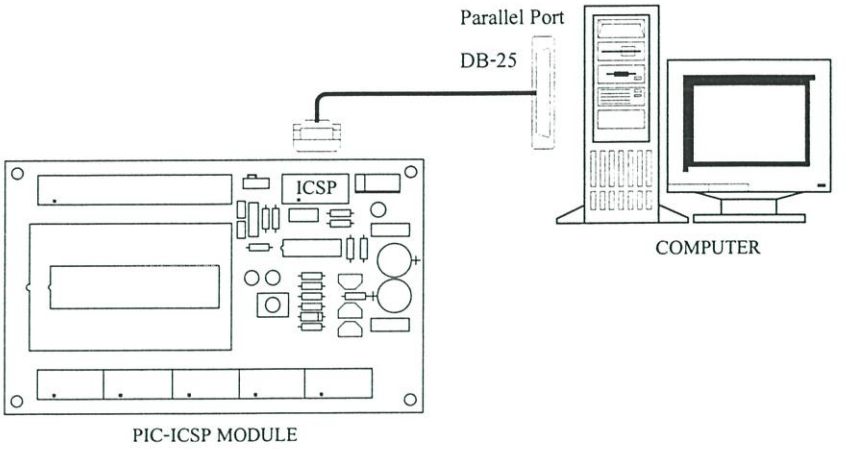


รูปที่ 15 โปรแกรม PIC-ICSP Device

2.1 ความต้องการของระบบ

- IBM PC หรือ Compatible Computer
- ระบบปฏิบัติการ Windows95/98 ขึ้นไป
- Printer Port

2.2 การต่อสายดาวน์โหลดระหว่างโมดูลบอร์ดหลัก PIC-ICSP กับคอมพิวเตอร์



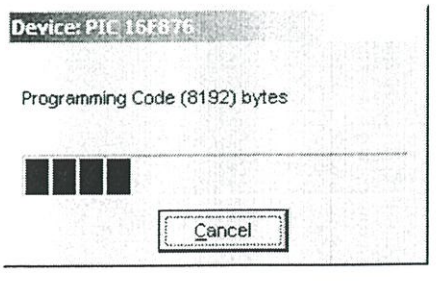
รูปที่ 16 การเชื่อมต่อโมดูลบอร์ด PIC-ICSP เข้ากับคอมพิวเตอร์

2.3 ขั้นตอนการใช้งานดาวน์โหลด

1) เลือกเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานจาก Select : PIC 16F876

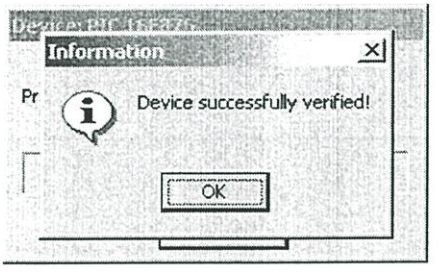
2) เปิดไฟล์ Hex โดยคลิกปุ่ม Browse HEX File จะปรากฏหน้าต่างเปิดไฟล์ ให้เลือกไฟล์ที่ต้องการโปรแกรม

3) สามารถโปรแกรมได้ทันทีโดยคลิกปุ่ม Program All จะเริ่มทำการโปรแกรมโดยจะปรากฏหน้าต่างแสดงการโปรแกรมดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 หน้าต่างแสดงขณะทำการโปรแกรม

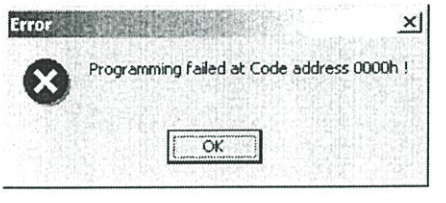
ขณะโปรแกรมข้อมูลลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ จะมี LED แสดงสถานะการโปรแกรมบนตัวโมดูลบอร์ด ซึ่งในขณะนี้ห้ามกดปุ่ม RESET เป็นอันขาด เพราะจะทำให้เกิดความผิดพลาดของ ข้อมูลขึ้น



รูปที่ 18 เมื่อโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์

เมื่อโปรแกรมเสร็จ จะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 18 ให้คลิกปุ่ม OK จากนั้นทำการรัน CPU โดยการคลิกที่ปุ่ม RUN ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะเริ่มทำงาน

กรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในขณะดาวน์โหลดจะเกิดหน้าต่างดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 เมื่อเกิดความผิดพลาดขณะทำการโปรแกรม

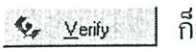
ในกรณีเกิดความผิดพลาดขึ้นซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1.1) การเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์และตัวโมดูลบอร์ดไม่สมบูรณ์

1.2) ไม่จ่ายไฟให้ตัวโมดูลบอร์ด

1.3) มีโมดูลบอร์ดที่จ่ายสถานะอินพุตให้กับตัว PIC-ICSP Module ต่ออยู่ที่ Port RB ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปโปรแกรมเกิดการผิดพลาด ให้ถอดอุปกรณ์นั้นออก

1.4) ในระหว่างโปรแกรมห้ามกดปุ่ม RESET เป็นอันขาดไม่ว่าจะเป็นบนตัวโมดูลบอร์ดหรือบนโปรแกรม PIC-ICSP Devices เพราะจะเกิดความผิดพลาดขึ้นทันที

4) เมื่อโปรแกรมเสร็จ สามารถที่จะตรวจสอบโค้ดโปรแกรมบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ว่าข้อมูลตรงกันกับที่โปรแกรมไปหรือไม่โดยคลิกปุ่ม  ก็จะแสดงหน้าต่างการเปรียบเทียบโค้ด ถ้ามีโค้ดไม่ตรงกัน จะแสดงหน้าต่างบอกความผิดพลาดแสดงขึ้นมา ให้ตรวจเช็คความผิดพลาดที่เกิดขึ้นซึ่งอาจจะมาจากการติดต่อระหว่างตัวโมดูลบอร์ดกับคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการโปรแกรมเข้าไปใหม่

5) โปรแกรม PIC-ICSP Devices สามารถสั่งงานตัวโมดูลบอร์ดได้คือ เมื่อคลิกที่ปุ่ม RESET ใน Control Board ก็จะเป็นการ Reset ตัว CPU ให้เริ่มต้นทำงานใหม่ และเมื่อกดปุ่ม STOP ก็จะเป็นการหยุดการประมวลผลของ CPU โดยจะมีลักษณะเหมือนการกด Reset ค้างไว้โดยเมื่อต้องการให้ CPU ประมวลผลอีกครั้ง ก็คลิกที่ปุ่ม RUN ตัว CPU ก็จะเริ่มการทำงานใหม่อีกครั้ง

6) สามารถเรียกใช้โปรแกรมอื่นๆ ขึ้นมาทำงานได้ คือ โปรแกรม MPLAB ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับจัดการกับการเขียนโปรแกรมภาษา Assembly สั่งตัวไมโครคอนโทรลเลอร์, โปรแกรม IC-Prog เป็นโปรแกรมสำหรับจัดการการดาวน์โหลดไฟล์ Hex ลงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์, โปรแกรม MPASM เป็นตัว Assembler สร้างไฟล์ .Hex ซึ่งสำหรับการเรียกใช้ โปรแกรม MPLAB และ MPASM นั้น จะต้องมีโปรแกรมดังกล่าวติดตั้งอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วเท่านั้น

ภาคผนวก จ

ตารางแสดงผลการประเมินคุณภาพ ของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการศึกษาและวิศวกรรม

ตารางที่ จ1 ผลการประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการศึกษา ทั้ง 5 ท่าน ของใบงานที่ 1-5

รายการ	ใบงานที่ 1					ใบงานที่ 2					ใบงานที่ 3					ใบงานที่ 4					ใบงานที่ 5				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1.วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	4
2. ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5	4	4	5	4	5	5	4	5
3. ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง	5	5	4	4	5	4	5	3	5	5	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	5
4. ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม	5	5	4	4	4	4	5	4	5	4	5	5	4	3	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4
5. คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน	4	5	3	4	4	4	5	4	4	4	5	5	4	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4
6. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน	4	5	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	5	5
7. การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม	4	5	3	5	4	5	4	4	2	4	5	5	4	5	4	4	4	4	5	4	5	5	4	5	4
8. แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น	5	5	4	4	5	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4	4
9. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์	4	5	4	4	5	5	5	4	3	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	5	5	5	5	4	5
10. ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	5	5	4	4	4	4	5	5	3	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	5	4	5
11. ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5
12. ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน	4	5	4	4	4	5	5	4	3	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4
13. ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง	5	5	4	4	5	5	5	5	3	5	5	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5

ตารางที่ จ2 ผลการประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการศึกษา ทั้ง 5 ท่าน ของใบงานที่ 6-10

รายการ	ใบงานที่ 6					ใบงานที่ 7					ใบงานที่ 8					ใบงานที่ 9					ใบงานที่ 10				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1.วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	3	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5
2. ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	4	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3. ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง	4	5	5	4	5	5	5	4	4	4	4	5	4	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
4. ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5	5	4	5
5. คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	4	3	5	5	5	4	4	4	5	5	4	4	5
6. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	3	5
7. การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4
8. แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5
9. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์	5	5	5	5	4	5	5	4	3	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	5	5	4	4
10. ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	4	5	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5	5	4	4
11. ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	5	4	5	5	4	5
12. ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน	5	5	5	4	4	5	5	5	3	4	5	5	4	4	4	5	5	4	3	4	4	5	5	5	4
13. ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5

ตารางที่ จ3 ผลการประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการศึกษา ทั้ง 5 ท่าน ของใบงานที่ 11-14

รายการ	ใบงานที่ 11					ใบงานที่ 12					ใบงานที่ 13					ใบงานที่ 14				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1.วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมมีความสอดคล้องกับหัวข้อใบงาน	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5
2. ทฤษฎีเบื้องต้นมีความเหมาะสมกับหัวข้อใบงาน	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	5	4	4	5
3. ทฤษฎีเบื้องต้นมีเนื้อหาที่ครอบคลุมสำหรับการทดลอง	5	5	4	3	5	4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4
4. ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม	5	5	4	3	5	4	5	5	4	5	5	5	4	4	5	4	5	4	3	5
5. คำชี้แจงลำดับขั้นการทดลองในใบงานมีความชัดเจน	5	5	4	3	5	4	5	5	4	5	5	4	4	4	4	5	5	4	4	5
6. ความเหมาะสมของการเชื่อมโยงส่วนประกอบแต่ละส่วนของเนื้อหาภายในใบงาน	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	4	5
7. การป้อนกลับต่อการตอบสนองของผู้เรียนมีความเหมาะสม	5	5	4	5	4	4	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4
8. แบบฝึกหัดในใบงานมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ได้ตั้งขึ้น	4	5	4	3	5	4	5	4	3	5	5	4	4	2	5	5	5	4	3	5
9. ใบงานการทดลองมีการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์	5	5	4	5	4	5	5	5	3	4	4	5	4	4	4	5	5	4	4	4
10. ใบงานการทดลองมีลักษณะจูงใจและน่าสนใจเหมาะสำหรับการเรียนรู้	5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4	5	4	4	4
11. ใบงานสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์การเรียนการสอนได้จริง	4	5	4	5	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	4	5
12. ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจใบงานการทดลองได้แม้ไม่เคยศึกษาเนื้อหาวิชามาก่อน	4	5	4	4	4	4	5	5	4	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	4
13. ผู้เรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้งานได้จริง	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5	5

<u>หมายเหตุ</u> : ลำดับผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการศึกษา คือ

1. ผศ.กิติพงค์ มะโน
2. ผศ.ดร.คำรณ ศรีน้อย
3. รศ.สมศักดิ์ มิตะถา
4. รศ. ธีรวัฒน์ ประกอบผล
5. ผศ.สืบศักดิ์ พันธุ์ไพโรจน์

ตารางที่ จ4 ผลการประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านวิศวกรรมทั้ง 5 ท่าน ของโมดูลบอร์ดที่ 1-5

รายการ	โมดูลบอร์ดที่ 1					โมดูลบอร์ดที่ 2					โมดูลบอร์ดที่ 3					โมดูลบอร์ดที่ 4					โมดูลบอร์ดที่ 5				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. มีการระบุชื่อของโมดูลบอร์ดให้ผู้ใช้เห็นได้ชัดเจน	4	4	4	5	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5
2. ขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม	5	3	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	4
3. การกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4	3	4	4	4	5	4	4	5	4	5	5	5	5	5	4	3	4	5	4	5	4	5	5	5
4. การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4	5	4	4	5	5	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4	5	5	5
5. ฟังก์ชันการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4	5	4	4	5	5	4	4	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5
6. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน	5	4	5	4	4	5	4	4	4	4	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	5	5	4	5
7. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร	5	2	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5
8. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	5	4	4	5	5	5	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5
9. โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้	5	4	4	5	4	5	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5
10. โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต	5	4	5	5	5	4	4	4	4	5	4	3	4	5	5	5	4	5	5	5	4	5	4	5	5
11. บรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานในการเก็บโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4	2	5	4	3	4	2	5	4	3	4	2	5	4	4	4	2	5	4	3	4	2	5	4	3

ตารางที่ จ5 ผลการประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านวิศวกรรมทั้ง 5 ท่าน ของโมดูลบอร์ดที่ 6-10

รายการ	โมดูลบอร์ดที่ 6					โมดูลบอร์ดที่ 7					โมดูลบอร์ดที่ 8					โมดูลบอร์ดที่ 9					โมดูลบอร์ดที่ 10				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. มีการระบุชื่อของโมดูลบอร์ดให้ผู้ใช้เห็นได้ชัดเจน	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5
2. ขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม	4	4	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5
3. การกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	3	5	5	5	5	4	5	5	5
4. การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	4	4	5	5	5	5	4
5. ฟังก์ชันการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	5	4	5	5	5	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	4	5	5	4	4	5	5
6. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4
7. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร	5	5	4	4	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5
8. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	5	4	4	5	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	5	4	5	5	5	5	4	4	5	5
9. โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
10. โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11. บรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานในการเก็บโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4	2	5	5	4	4	2	5	4	3	4	2	5	4	4	4	2	5	4	4	4	2	5	4	4

ตารางที่ จ6 ผลการประเมินคุณภาพของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านวิศวกรรมทั้ง 5 ท่าน ของโมดูลบอร์ดที่ 11-13

รายการ	โมดูลบอร์ดที่ 11					โมดูลบอร์ดที่ 12					โมดูลบอร์ดที่ 13				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. มีการระบุชื่อของโมดูลบอร์ดให้ผู้ใช้เห็นได้ชัดเจน	3	4	5	5	5	3	4	5	5	5	3	3	5	5	5
2. ขนาดของโมดูลบอร์ดที่ออกแบบมีความเหมาะสม	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	3	5	5	5
3. การกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์บนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	4	3	4	5	5
4. การออกแบบพอร์ตเชื่อมต่อการใช้งานบนโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	5
5. ฟังก์ชันการทำงานในโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	5	4	5
6. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความสะดวกในการใช้งาน	5	4	5	5	4	5	4	5	4	4	5	4	5	4	5
7. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร	5	4	4	5	5	5	2	5	4	5	5	4	4	4	5
8. โมดูลบอร์ดที่สร้างขึ้นมีลักษณะจูงใจ น่าสนใจในการเรียนรู้	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	3	5	4	5
9. โมดูลบอร์ดมีความเหมาะสมที่ใช้ประกอบการเรียนรู้	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5
10. โมดูลบอร์ดที่ใช้เรียนรู้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานในอนาคต	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5
11. บรรจุภัณฑ์ที่ใช้งานในการเก็บโมดูลบอร์ดมีความเหมาะสม	4	2	5	4	4	4	2	5	4	4	4	2	5	4	3

หมายเหตุ : ลำดับผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านวิศวกรรม คือ

1. ผศ.พินิจ เทพสาธร
2. อโนทัย เศรษฐปาณี
3. เกดิษฐ์ อ่อนชุม
4. โสภัทร ฉายสว่างวงศ์
5. ชาญณรงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายสุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
วัน เดือน ปี เกิด	3 กันยายน 2512
สถานที่เกิด	ศรีสะเกษ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	38 ม.4 ถ.คู้คลองสิบ แขวงคลองสิบ เขตมีนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ.) ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง